

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MONTES,
FORESTAL Y DEL MEDIO NATURAL**



Trabajo de Fin de Grado

**ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO
TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU
CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA**

ÁNGELA CHIMENO SAAVEDRA

Septiembre de 2014

Directores de Trabajo:
Carolina Martínez Santa-María
Jose Anastasio Fernández Yuste

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

RESUMEN DEL TRABAJO

El territorio a estudiar se localiza en las comarcas de Sanabria y Benavente, en Zamora (Castilla y León), formando parte de la cuenca hidrográfica del Duero. En concreto el tramo de estudio comprende desde el embalse de Cernadilla hasta la confluencia del río Tera con el Esla.

El Estudio consiste en la caracterización hidrológica y evaluación de la alteración de los tramos medio y bajo del río Tera. El primer tramo a estudiar se comprende desde el embalse de Cernadilla hasta la presa de Nuestra Señora del Agavanzal, compuesto por un sistema de embalses para uso hidroeléctrico y para derivaciones de riego. El segundo tramo se compone del curso del Tera desde la presa de Nuestra Señora del Agavanzal hasta la confluencia con el Esla, distinguido por la elevada superficie de cultivos que componen la zona.

Dicha caracterización y evaluación se llevarán a cabo a partir de la metodología de Índices de Alteración Hidrológica, para ello se emplearán de forma complementaria dos software: **IAHRIS**, promovido por la Universidad Politécnica de Madrid por Carolina Martínez y José Anastasio Fernández; **IHA** en base a las ideas de Richter promovido por The Nature Conservancy.



HYDROLOGIC ALTERATION STUDY OF THE TERA RIVER BETWEEN CERNADILLA RESERVOIR AND THE ESLA RIVER CONFLUENCE

SUMMARY

The study area is located in the regions of Sanabria and Benavente, Zamora (Castilla y León), being part of the watershed of Duero river. Specifically, the river section that is going to be studied is ranging from Cernadilla reservoir to the river Esla confluence.

The study involves the characterization and evaluation of hydrologic alteration of the Tera river middle and lower river sections. The first river section include the watershed between the Cernadilla reservoir and Nuestra Señora del Agavanzal dam. This section is composed of three reservoirs (Cernadilla, Valparaíso and Nuestra Señora del Agavanzal) in order to provide hydropower, Cernadilla and Nuestra Señora del Agavanzal are used to irrigate crops surrounding the lower river section as well. The second section, which is known as the lower section, is studied from Nuestra Señora del Agavanzal dam to the Esla river confluence. In this lower section is where the crops are located.

This characterization and evaluation will be conducted by the methodology Indicators of Hydrologic Alteration, in order to achieve the objectives of the study two software will be used: IAHRIS, which is promoted by the Polytechnic University of Madrid and conducted by José Anastasio Fernández and Carolina Martínez; IHA that is based on Richter's ideas created by The Nature Conservancy. These software are going to complement each other, with the purpose of accomplishing a complete analysis.



ÍNDICE GENERAL

1.	ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN	17
2.	OBJETIVOS.....	20
3.	LEGALIDAD	22
4.	CARACTERIZACIÓN GENERAL DE LA ZONA DE ESTUDIO	25
4.1.	ENCUADRE GENERAL.....	25
4.2.	REGIÓN BIOGEOGRÁFICA	27
4.3.	GEOLOGÍA	27
4.4.	CLIMATOLOGÍA.....	28
4.5.	USOS DEL SUELO	32
4.6.	VEGETACIÓN	34
4.7.	VEGETACIÓN DE RIBERA.....	36
4.8.	BIOTA ACUÁTICA.....	37
5.	CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA FLUVIAL	39
5.1.	RÉGIMEN HIDROLÓGICO	39
5.1.1.	RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES	39
5.1.2.	RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS	42
5.1.3.	RETORNOS	42
5.1.4.	UNIDADES DE DEMANDA	43
5.2.	PRESIONES E IMPACTOS.....	46
5.2.1.	PRESIONES SOBRE MASAS DE AGUA SUPERFICIAL.....	47
5.2.2.	PRESIONES SOBRE MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA	50
5.3.	ESTADO ACTUAL DE LAS MASAS DE AGUA	51
5.3.1.	ESTADO Y POTENCIAL ECOLÓGICO.....	52
5.3.2.	ESTADO QUÍMICO.....	54
5.3.3.	ESTADO DE LOS EMBALSES DE CERNADILLA, VALPARAISO Y NUESTRA SEÑORA DEL AGAVANZAL 55	
5.3.4.	ESTADO DE LAS MASAS DE AGUA SUPERFICIAL	59
5.4.	ZONAS PROTEGIDAS	63
5.4.1.	VALORES BIOLÓGICOS	63
5.4.2.	VALORES HIDROMORFOLÓGICOS	63
5.4.3.	ZONAS PROTEGIDAS POR LA RED NATURA 2000	64
5.5.	OBJETIVOS AMBIENTALES.....	66
5.6.	ASIGNACIÓN Y RESERVA DE RECURSOS	69



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO Esla

5.7.	CAUDALES ECOLÓGICOS.....	71
6.	CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE EMBALSES.....	76
6.1.	DESCRIPCIÓN GENERAL	76
6.2.	EMBALSES.....	76
6.2.1.	EMBALSE DE CERNADILLA	77
6.2.2.	EMBALSE DE VALPARAÍSO	79
6.2.3.	EMBALSE DE NUESTRA SEÑORA DEL AGAVANZAL.....	82
7.	CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA	86
7.1.	INTRODUCCIÓN.....	86
7.2.	METODOLOGÍA	88
7.2.1.	IAHRIS	88
7.2.2.	IHA (RICHTER)	92
7.3.	DATOS NECESARIOS	95
7.4.	DATOS DISPONIBLES.....	95
7.4.1.	MODELO DE CORRECCIÓN.....	98
8.	CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN NATURAL DEL SISTEMA DE EMBALSES (TRAMO 1-2) DEL RÍO TERA.....	106
8.1.	ENCUADRE GENERAL.....	106
8.2.	ASPECTOS ANALIZADOS.....	107
8.3.	RESULTADOS OBTENIDOS	107
8.3.1.	APORTACIONES ANUALES	107
8.3.2.	APORTACIONES MENSUALES.....	109
8.3.3.	CAUDALES DIARIOS CIRCULANTES	111
8.3.4.	AVENIDAS	114
8.3.5.	SEQUÍAS.....	117
8.4.	CONCLUSIONES.....	120
9.	EVALUACIÓN DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA DEL SISTEMA DE EMBALSES (TRAMO 1-2) DEL RÍO TERA.....	122
9.1.	INTRODUCCIÓN.....	122
9.2.	CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN ALTERADO (MÉTODO IAHRIS)	122
9.2.1.	APORTACIONES ANUALES	122
9.2.2.	APORTACIONES MENSUALES.....	125
9.2.3.	CAUDALES DIARIOS CIRCULANTES	127
9.2.4.	AVENIDAS	129
9.2.5.	SEQUÍAS.....	131



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

9.3.	ÍNDICES DE ALTERACIÓN HIDROLÓGICA.....	134
9.3.1.	VALORES HABITUALES	134
9.3.2.	AVENIDAS	136
9.3.3.	SEQUÍAS.....	137
9.4.	ANÁLISIS HIDROLÓGICO (MÉTODO IHA).....	138
9.4.1.	MAGNITUD DE LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS MENSUALES.....	138
9.4.2.	MAGNITUD Y DURACIÓN DE LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS EXTREMAS ANUALES.....	141
9.4.3.	TEMPORALIDAD DE LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS EXTREMAS ANUALES	143
9.4.4.	FRECUENCIA Y DURACIÓN DE LOS PULSOS ALTOS Y BAJOS.....	144
9.4.5.	TASA Y FRECUENCIA DE LOS CAMBIOS DE LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS	147
9.4.6.	EVALUACIÓN DE LA ALTERACIÓN	148
9.5.	CONCLUSIONES.....	151
10.	CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN NATURAL DEL TRAMO DEL RÍO TERA DESDE LA PRESA DE AGAVANZAL A LA CONFLUENCIA CON EL ESLA (TRAMO 2-3).....	154
10.4.	ENCUADRE GENERAL.....	154
10.5.	ASPECTOS ANALIZADOS.....	155
10.6.	RESULTADOS OBTENIDOS	155
10.6.1.	APORTACIONES ANUALES	155
10.6.2.	APORTACIONES MENSUALES.....	156
10.6.3.	CAUDALES DIARIOS CIRCULANTES	159
10.6.4.	AVENIDAS	161
10.6.5.	SEQUÍAS	163
10.7.	CONCLUSIONES.....	165
11.	EVALUACIÓN DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA DEL TRAMO DEL RÍO TERA DESDE LA PRESA DE AGAVANZAL A LA CONFLUENCIA CON EL ESLA (TRAMO 2-3).....	167
11.1.	INTRODUCCIÓN.....	167
11.2.	CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN ALTERADO (MÉTODO IAHRIS)	167
11.2.1.	APORTACIONES ANUALES	168
11.2.2.	APORTACIONES MENSUALES.....	170
11.2.3.	CAUDALES DIARIOS CIRCULANTES	172
11.2.4.	AVENIDAS	174
11.2.5.	SEQUÍAS	176
11.3.	ÍNDICES DE ALTERACIÓN HIDROLÓGICA.....	178
11.3.1.	VALORES HABITUALES	178
11.3.2.	AVENIDAS	180



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

11.3.3.	SEQUÍAS	181
11.4.	ANÁLISIS HIDROLÓGICO (MÉTODO IHA).....	182
11.4.1.	MAGNITUD DE LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS MENSUALES.....	183
11.4.2.	MAGNITUD Y DURACIÓN DE LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS EXTREMAS ANUALES.....	187
11.4.3.	TEMPORALIDAD DE LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS EXTREMAS ANUALES.....	189
11.4.4.	FRECUENCIA Y DURACIÓN DE LOS PULSOS ALTOS Y BAJOS	190
11.4.5.	TASA Y FRECUENCIA DE LOS CAMBIOS DE LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS	192
11.4.6.	EVALUACIÓN DE LA ALTERACIÓN	193
11.5.	CONCLUSIONES.....	196
12.	CONCLUSIONES FINALES	199
12.4.	CONCLUSIONES DESDE EL PUNTO DE VISTA DE RESULTADOS	199
12.5.	CONCLUSIONES DESDE EL PUNTO DE METODOLOGÍA	201
12.6.	OTRAS CONCLUSIONES	201
13.	BIBLIOGRAFÍA	203
14.	ANEXO I: MAPAS.....	205
15.	ANEXO II: ZONAS PROTEGIDAS (Anexo electrónico)	
16.	ANEXO III: EMBALSES Y PRESAS (Anexo electrónico)	
17.	ANEXO IV: DATOS HIDROLÓGICOS (Anexo electrónico)	
18.	ANEXO V: RESULTADOS IAHRIS (Anexo electrónico)	
19.	ANEXO VI: RESULTADOS IHA (Anexo electrónico)	
20.	ANEXO VII: BALANCES DE LAS DEMANDAS (Anexo electrónico)	
21.	ANEXO VIII: ESTACIONES DE AFORO Y EMBALSES (Anexo electrónico)	



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa general de la zona de estudio. Embalses del bajo Tera y confluencia con el río Esla	17
Figura 2. Mapa de situación del territorio a estudiar	25
Figura 3. Mapa de la cuenca hidrográfica del Duero. Localización y detalle de la cuenca de la zona de estudio	26
Figura 4. Mapa Biogeográfico de Rivas-Martínez	27
Figura 5. Mapa de Geología en la cuenca del río Tera	28
Figura 6. Mapa de estaciones meteorológicas	29
Figura 7. Caracterización de los regímenes térmico y pluviométrico del Año Normal	30
Figura 8. Mapa de Subregiones Fitoclimáticas en la cuenca del río Tera	31
Figura 9. Subregiones fitoclimáticas de la clasificación de Allué Andrade (1990) presentes en la cuenca del río Tera	31
Figura 10. Distribución de los usos del suelo presentes en la cuenca del río Tera	32
Figura 11. Mapa de Usos del suelo en la cuenca del río Tera	33
Figura 12. Distribución de la vegetación presente en la cuenca del río Tera	35
Figura 13. Mapa de Vegetación en la cuenca del río Tera	36
Figura 14. Red de drenaje, división en tramos y discriminación de la zona y el tramo de estudio	39
Figura 15. Subcuencas agregadas que conforman la aportación natural introducida en el modelo de simulación del Sistema de Explotación Tera	40
Figura 16. Esquema del Sistema de Explotación del Tera, uso en Central Hidroeléctrica Moncabril	41
Figura 17. Acuíferos del Sistema de Explotación Tera	42
Figura 18. Retornos de las demandas del Sistema de Explotación Tera	43
Figura 19. Unidades de demanda urbana del Sistema de Explotación Tera	44
Figura 20. Unidades de demanda agraria del Sistema de Explotación Tera	45
Figura 21. Unidades de demanda hidroeléctrica del Sistema de Explotación Tera	46
Figura 22. Mapa de estado ecológico de las masas de agua superficial naturales de la categoría río para el año 2015	47
Figura 23. Mapa de distribución de canales de trasvase o desvío de aguas	48
Figura 24. Mapa de distribución de dragados de río	48
Figura 25. Mapa de localización de masas de agua de lago afectadas por recrecimiento	49
Figura 26. Mapa de distribución de los principales puntos de localización de especies alóctonas	49
Figura 27. Mapa de estado de las masas de agua subterránea sobre las que hay declaradas zonas vulnerables a la contaminación por nitratos, año 2011	50
Figura 28. Indicadores para conocer el Estado de una masa de agua	51
Figura 29. Indicadores para conocer el estado o potencial ecológico de una masa de agua, incluidos algunos índices trascendentales	51



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO Esla

Figura 30. Mapa de estado ecológico de las masas de agua naturales de la categoría río.....	52
Figura 31. Mapa de estado ecológico de las masas de agua naturales de la categoría lago	53
Figura 32. Mapa de potencial ecológico de las masas de agua superficial muy modificadas)	54
Figura 33. Estado químico de las masas de agua superficiales	55
Figura 34. Gráfico comparativo de parámetros representativos del año 2009 (06/09/2009).....	59
Figura 35. Estado de las masas de agua superficiales	59
Figura 36. Imágenes del lago de Sanabria	64
Figura 37. Mapa de zonas protegidas por la Red Natura 2000 en la cuenca del río Tera.....	66
Figura 38. Concentración de fósforo (mg/l) en las masas de agua superficiales (no incluye lagos ni masas artificiales) en el escenario 2015.....	67
Figura 39. Concentración de materia orgánica (mg/l) en las masas de agua superficiales (no incluye lagos ni masas artificiales) en el escenario 2015.....	67
Figura 40. Hidrograma del evento generador del lecho para la masa de agua 214	72
Figura 41. Hidrograma del evento generador del lecho para la masa de agua 50	73
Figura 42. Mapa de situación de embalses y ríos.....	76
Figura 43. Embalse de Cernadilla	77
Figura 44. Imagen de la presa Cernadilla (Dique del Collado).....	78
Figura 45. Embalse de Valparaíso.....	79
Figura 46. Imagen de la presa de Valparaíso.....	80
Figura 47. Imagen de la presa y el embalse de Valparaíso.....	81
Figura 48. Embalse de Nuestra Señora del Agavanzal.....	82
Figura 49. Imagen de la presa de Nuestra Señora del Agavanzal.....	83
Figura 50. Paradigma del régimen natural de caudales (basado en Arthington y Bunn, 2002).....	86
Figura 51. Significación ambiental de los principales aspectos del régimen de caudales	87
Figura 52. Parámetros que caracterizan los aspectos más significativos en el ámbito ambiental del régimen de caudales.....	89
Figura 53. Índices de IAHRIS	89
Figura 54. Ejemplo de representación en malla de los índices	90
Figura 55. Número y tipo de parámetros que contiene el software IHA	92
Figura 56. Datos necesarios para la consecución de objetivos del Estudio	95
Figura 57. Mapa de estaciones de aforos y embalses presentes en la zona.....	96
Figura 58. Mapa de puntos que establecen los análisis objeto de este estudio.....	97
Figura 59. Mapa de localización de las diferentes cuencas vertientes para cada punto de análisis	98
Figura 60. Mapa de escurrimiento total medio en la cuenca del Tera	98
Figura 61. Mapa de isólinas de escurrimiento.....	100
Figura 62. Mapas de las subcuencas	100



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO Esla

Figura 63. Mapa de Escorrentía en la cuenca del río Tera	101
Figura 64. Mapa de pluviometría anual para la cuenca del río Tera	101
Figura 65. Mapa de Grupos Hidrológicos en la cuenca del río Tera	103
Figura 66. Mapa de la cuenca del Duero en Castilla y León y tramo de estudio 1-2	106
Figura 67. Aportaciones anuales en régimen natural entre 1995 y 2010 del tramo 1-2	108
Figura 68. Aportaciones mensuales para cada año en régimen natural del tramo 1-2	109
Figura 69. Aspectos más destacados de las aportaciones mensuales para los diferentes tipos de año de ltramo 1-2	110
Figura 70. Estacionalidad de máximos y mínimos a escala mensual en el tramo del sistema de embalses del río Tera.	111
Figura 71. Curva de caudales clasificados en régimen natural del tramo 1-2	112
Figura 72. Estimación del Rango de Variabilidad Habitual a partir de la curvas de caudales clasificados....	113
Figura 73. Caracterización de la estacionalidad de las avenidas en el tramo del sistema de embalses del río Tera	116
Figura 74. Determinación del umbral que define una sequía habitual.....	117
Figura 76. Caracterización de la estacionalidad de las sequías en el tramo del sistema de embalses del río Tera	120
Figura 77. Gráfico comparativo de aportaciones anuales en régimen natural y alterado entre 1995 y 2010 del tramo 1-2	123
Figura 78. Aportaciones anuales medias por cada tipo de año en régimen natural y alterado del tramo 1-2)	124
Figura 79. Aportaciones mensuales para cada año entre régimen natural y alterado del tramo 1-2	125
Figura 80. Estacionalidad de máximos y mínimos mensuales del año ponderado en el tramo 1-2	127
Figura 81. Curva de caudales clasificados en régimen natural y alterado del tramo 1-2	128
Figura 82. Perfil transversal tipo del río: Rangos de caudales el 80% del año del tramo 1-2	129
Figura 83. Magnitud de los diferentes tipos de avenidas en ambos regímenes del tramo 1-2	129
Figura 84. Estacionalidad de las avenidas en ambos regímenes del tramo 1-2	131
Figura 85. Magnitud de las sequías en ambos regímenes del tramo 1-2	132
Figura 86. Estacionalidad de las sequías en ambos regímenes del tramo 1-2	133
Figura 87. Índices de alteración hidrológica para avenidas del tramo 1-2	136
Figura 88. Índices de alteración hidrológica para sequías del tramo 1-2	137
Figura 89. Caudales anuales en régimen natural y alterado entre 1996 y 2010 del tramo 1-2	138
Figura 90. Caudales medios mensuales por cada año en régimen natural del tramo 1-2	139
Figura 91. Caudales medios mensuales por cada año en régimen alterado del tramo 1-2	139
Figura 92. Caudales medios mensuales en ambos regímenes del tramo 1-2	141
Figura 93. Días de caudal cero en ambos regímenes del tramo 1-2	142



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

Figura 94. Índice de flujo de base en ambos regímenes del tramo 1-2	143
Figura 95. Análisis mediante software IHA en la pestaña de Statitics.....	144
Figura 96. Número de pulsos bajos anuales en ambos regímenes del tramo 1-2	145
Figura 97. Número de pulsos altos anuales en ambos regímenes del tramo 1-2	146
Figura 98. Esquema de los umbrales que definen las tres categorías del RVA para una distribución normal	148
Figura 99. Alteración de los 33 parámetros que analiza IHA del tramo 1-2.....	150
Figura 100. Parámetros más alterados pertenecientes a la categoría alta.....	150
Figura 101. Parámetros más alterados pertenecientes a la categoría baja	150
Figura 102. Conclusiones de la alteración de los aspectos analizados del tramo 1-2.....	151
Figura 103. Aspectos más alterados del tramo 1-2 del río Tera.....	152
Figura 104. Segundo tramo de análisis del Estudio.....	154
Figura 105. Aportaciones anuales en régimen natural entre 1995 y 2010 del tramo 2-3	155
Figura 106. Aportaciones mensuales para cada año en régimen natural del tramo 2-3	157
Figura 107. Aspectos más destacados de las aportaciones mensuales para los diferentes tipos de año del tramo 2-3.....	157
Figura 108. Estacionalidad de máximos y mínimos a escala mensual en el tramo 2-3 del río Tera	158
Figura 109. Curva de caudales clasificados en régimen natural del tramo 2-3.....	159
Figura 110. Caracterización de la estacionalidad de las avenidas en el tramo 2-3 del río Tera.....	162
Figura 111. Caracterización de la estacionalidad de las sequías en el tramo 2-3 del río Tera	164
Figura 112. Aportaciones anuales en régimen natural y alterado entre 1995 y 2010 del tramo 2-3	168
Figura 113. Aportaciones anuales medias por cada tipo de año en régimen natural y alterado del tramo 2-3	169
Figura 114. Aportaciones mensuales para cada año entre régimen natural y alterado del tramo 2-3	170
Figura 115. Estacionalidad de máximos y mínimos mensuales del año ponderado en el tramo 2-3	172
Figura 116. Curva de caudales clasificados en régimen natural y alterado del tramo 2-3	173
Figura 117. Perfil transversal tipo del río: Rangos de caudales el 80% del año del tramo 2-3	174
Figura 118. Magnitud de los diferentes tipos de avenidas en ambos regímenes del tramo 2-3	175
Figura 119. Estacionalidad de las avenidas en ambos regímenes del tramo 2-3.....	176
Figura 120. Magnitud de las sequías en ambos regímenes del tramo 2-3.....	177
Figura 121. Estacionalidad de las sequías en ambos regímenes del tramo 2-3	178
Figura 122. Índices de alteración hidrológica para el año seco del tramo 2-3.....	180
Figura 123. Índices de alteración hidrológica para avenidas del tramo 2-3	180
Figura 124. Índices de alteración hidrológica para sequías del tramo 2-3.....	182
Figura 125. Caudales anuales en régimen natural y alterado entre 1996 y 2010 del tramo 2-3	183
Figura 126. Caudales medios mensuales por cada año en régimen natural del tramo 2-3.....	184



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

Figura 127. Caudales medios mensuales por cada año en régimen alterado del tramo 2-3	184
Figura 128. Caudales medios mensuales para los años 1997, 1999, 2000 y 2006 en ambos regímenes del tramo 2-3.....	185
Figura 129. Caudales medios mensuales en ambos regímenes del tramo 2-3	187
Figura 130. Caudal mínimo trimestral en ambos regímenes del tramo 2-3	188
Figura 131. Caudal máximo diario en ambos regímenes del tramo 2-3	189
Figura 132. Número de días de pulso bajo en ambos regímenes del tramo 2-3	190
Figura 133. Número de pulsos bajos anuales en ambos regímenes del tramo 2-3	191
Figura 134. Número de pulsos altos anuales en ambos regímenes del tramo 2-3	192
Figura 135. Alteración de los 33 parámetros que analiza IHA del tramo 2-3.....	193
Figura 136. Parámetros más alterados pertenecientes a la categoría baja	195
Figura 137. Factores más grandes de alteración hidrológica de los 33 parámetros que analiza IHA en el tramo 2-3	195
Figura 138. Conclusiones de la alteración de los aspectos analizados del tramo 2-3.....	196
Figura 139. Relación de aspectos evaluados para cada uno de los tramos, mostrando el tipo de alteración	199
Figura 140. Principales conclusiones de los tramos 1-2 y 2-3	200



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de las variables meteorológicas del Observatorio Meteorológico	29
Tabla 2. Elementos biológicos presentes en los puntos de muestreo de Galende, Cernadilla, Valparaíso, Agavanzal y Calzadilla del Tera, para los años 2007-2010	37
Tabla 3. Unidades de demanda urbana del Sistema Tera: volumen y dotación	44
Tabla 4. Unidades de demanda agraria del Sistema Tera: superficie, volumen y dotación	45
Tabla 5. Características de las centrales hidroeléctricas del Sistema de Explotación Tera.....	46
Tabla 6. Presentación de resultados del estado ecológico de las masas de agua superficial naturales.....	52
Tabla 7. Presentación de resultados del potencial ecológico de las masas de agua muy modificadas.....	53
Tabla 8. Resumen del número de masas de agua superficiales en cada categoría de estado y potencial ecológico.....	54
Tabla 9. Presentación de resultados del estado químico de las masas de las masas de agua superficial	55
Tabla 10. Calidad del agua del embalse de Cernadilla	56
Tabla 11. Calidad del agua del embalse de Valparaíso.....	57
Tabla 12. Calidad del agua del embalse de Nuestra Señora del Agavanzal	58
Tabla 13. Resultados de los índices de calidad biológicos, hidromorfológicos y físico-químicos para la masa de agua 50	60
Tabla 14. Resultados de los índices de calidad biológicos, hidromorfológicos y físico-químicos para la masa de agua 198	61
Tabla 15. Resultados de los índices de calidad biológicos, hidromorfológicos y físico-químicos para la masa de agua 200	61
Tabla 16. Resultados de los índices de calidad biológicos, hidromorfológicos y físico-químicos para la masa de agua 214	62
Tabla 17. Resultados de los índices de calidad biológicos, hidromorfológicos y físico-químicos para la masa de agua 258	62
Tabla 18. Zonas protegidas por la Red Natura dentro de la cuenca hidrográfica del Tera.....	64
Tabla 19. Objetivos ambientales de las zonas protegidas.....	68
Tabla 20. Asignación de recursos del Sistema de Explotación Tera	69
Tabla 21. Unidad de Demanda Agraria superficial del Sistema Tera	70
Tabla 22. Reserva de recursos del Sistema Tera	70
Tabla 23. Caudales y aportaciones mínimas en los distintos tramos estudiados por el Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero, 2012	71
Tabla 24. Propuestas de regímenes de caudales mínimos y máximos para la masa de agua 214	71
Tabla 25. Caudal generador del lecho del río Tera y Caracterización del Hidrograma del evento generador del lecho para la masa de agua 214	72
Tabla 26. Propuestas de regímenes de caudales mínimos y máximos para la masa de agua 50	72

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

Tabla 27. Caudal generador del lecho del río Tera y Caracterización del Hidrograma del evento generador del lecho para la masa de agua 50	73
Tabla 28. Resultados indicadores del caudal ecológico para la masa de agua 50	73
Tabla 29. Resultados indicadores del caudal ecológico para la masa de agua 198	73
Tabla 30. Resultados indicadores del caudal ecológico para la masa de agua 200	74
Tabla 31. Resultados indicadores del caudal ecológico para la masa de agua 214	74
Tabla 32. Resultados indicadores del caudal ecológico para la masa de agua 258	74
Tabla 33. Datos hidrológicos del embalse de Cernadilla.....	77
Tabla 34. Datos de la presa Cernadilla (Dique del Collado)	78
Tabla 35. Datos del embalse de Cernadilla	78
Tabla 36. Datos hidrológicos del embalse de Valparaíso	80
Tabla 37. Datos de la presa de Valparaíso.....	80
Tabla 38. Datos del embalse de Valparaíso.....	81
Tabla 39. Datos hidrológicos del embalse de Nuestra Señora del Agavanzal	82
Tabla 40. Datos de la presa de Nuestra Señora del Agavanzal	83
Tabla 41. Datos del embalse de Nuestra Señora del Agavanzal.....	83
Tabla 42. Relación entre la valoración cuantitativa y cualitativa de los índices y la gama de colores asignados	90
Tabla 43. Relación entre la valoración cuantitativa y cualitativa de los índices globales y la gama de colores asignada.....	90
Tabla 44. Relación de Índices de Alteración Hidrológica (IAH1 – IAH21) para regímenes coetáneos	91
Tabla 45. Relación de todos los informes que puede ofrecer IAHRIS. (*) Cuando sólo se dispone de datos mensuales.....	91
Tabla 46. Resumen de los parámetros IHA y sus influencias en el ecosistema	94
Tabla 47. Tabla de clasificación de materiales geológicos en base a su consistencia, y sus correspondientes grupos de suelos de FAO-UNESCO y Grupos Hidrológicos	102
Tabla 48. Aspectos analizados en la caracterización del régimen natural para el tramo 1-2	107
Tabla 49. Años húmedos, medios y secos en régimen natural del tramo 1-2	108
Tabla 50. Aportaciones mensuales en régimen natural del tramo 1-2	109
Tabla 51. Valores de variabilidad máxima en régimen natural del tramo 1-2	110
Tabla 52. Valores de la curva de caudales clasificados para el régimen natural del tramo 1-2.....	113
Tabla 53. Estimación del Rango de Variabilidad Habitual del tramo 1-2	114
Tabla 54. Caracterización de la magnitud de las avenidas en régimen natural del tramo 1-2	114
Tabla 55. Caracterización de la variabilidad de las avenidas en el tramo del sistema de embalses del río Tera	115
Tabla 56. Caracterización de la duración de las avenidas en el régimen natural del tramo 1-2.....	115



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

Tabla 57. Número medio de días al mes en los que el caudal es mayor que el caudal habitual del tramo 1-2	116
Tabla 58. Caracterización de la magnitud de las sequías en el tramo del sistema de embalses del río Tera	118
Tabla 59. Caracterización de la variabilidad de las sequías en el tramo del sistema de embalses del río Tera	118
Tabla 60. Caracterización de la duración de las sequías en el tramo del sistema de embalses del río Tera	119
Tabla 61. Número medio de días al mes en los que el caudal es mayor que el caudal habitual del tramo 1-2	119
Tabla 62. Datos disponibles en régimen natural y alterado para el Estudio del tramo 1-2 con IAHRIS	122
Tabla 63. Tabla de años húmedos, medios y secos en régimen natural del tramo 1-2	123
Tabla 64. Aportaciones anuales máximas, mínimas y medias en régimen natural y alterado del tramo 1-2	124
Tabla 65. Aportaciones anuales por tipo de año en régimen natural y alterado del tramo 1-2	124
Tabla 66. Aportaciones mensuales en régimen alterado del tramo 1-2	126
Tabla 67. Magnitud de las aportaciones mensuales para los dos regímenes correspondientes al año ponderado del tramo 1-2	126
Tabla 68. Caudales correspondientes a los percentiles de excedencia del 10 y 90% del tramo 1-2	128
Tabla 69. Caracterización de la variabilidad de las avenidas en ambos regímenes del tramo 1-2	130
Tabla 70. Caracterización de la duración de las avenidas en ambos regímenes del tramo 1-2	131
Tabla 71. Caracterización de la magnitud de las sequías en ambos regímenes del tramo 1-2	132
Tabla 72. Caracterización de la duración de las sequías en ambos regímenes del tramo 1-2	133
Tabla 73. Relación entre la valoración cuantitativa y cualitativa de los índices y la gama de colores asignados	134
Tabla 74. Índices de alteración hidrológica y de alteración global para valores habituales del tramo 1-2 ..	135
Tabla 75. Índices de alteración hidrológica para avenidas del tramo 1-2	136
Tabla 76. Índices de alteración global para avenidas del tramo 1-2	137
Tabla 77. Índices de alteración hidrológica para sequías del tramo 1-2	137
Tabla 78. Índices de alteración global para sequías del tramo 1-2	137
Tabla 79. Datos disponibles en régimen natural y alterado para el Estudio del tramo 1-2 con IHA	138
Tabla 80. Caudales medios mensuales en ambos regímenes del tramo 1-2 (grupo de parámetros 1)	140
Tabla 81. Porcentajes del factor de desviación máximos y mínimos de las crecidas y las disminuciones del tramo 1-2	140
Tabla 82. Resultados IHA para el grupo 2 de parámetros en ambos regímenes del tramo 1-2	141
Tabla 83. Resultados IHA de evaluación de temporalidad de caudales extremos en ambos regímenes del tramo 1-2	144
Tabla 84. Resultados IHA de evaluación de la frecuencia de pulsos bajos y altos en ambos regímenes del tramo 1-2	145



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

Tabla 85. Resultados IHA de evaluación de la duración de pulsos bajos y altos en ambos regímenes del tramo 1-2.....	147
Tabla 86. Media de los cambios diarios positivos de caudales (ascenso) y negativos (descenso) junto con factor de desviación de tales medias del tramo 1-2	147
Tabla 87. Categorías alta, media y baja del RVA para cada uno de los parámetros IHA analizados en el presente Estudio del tramo 1-2.....	149
Tabla 88. Tabla de años húmedos, medios y secos en régimen natural del tramo 2-3	156
Tabla 89. Aportaciones mensuales en régimen natural del tramo 2-3.....	156
Tabla 90. Valores de variabilidad máxima en régimen natural del tramo 2-3	158
Tabla 91. Valores de la curva de caudales clasificados para el régimen natural del tramo 2-3.....	160
Tabla 92. Estimación del Rango de Variabilidad Habitual del tramo 2-3	160
Tabla 93. Caracterización de la magnitud de las avenidas en régimen natural del tramo 2-3	161
Tabla 94. Caracterización de la variabilidad de las avenidas en el tramo del tramo 2-3 del río Tera.....	161
Tabla 95. Caracterización de la duración de las avenidas en el régimen natural del tramo 2-3.....	162
Tabla 96. Número medio de días al mes en los que el caudal es mayor que el caudal habitual del tramo 2-3	162
Tabla 97. Caracterización de la magnitud de las sequías en el tramo 2-3 del río Tera	163
Tabla 98. Caracterización de la variabilidad de las sequías en el tramo 2-3 del río Tera.....	163
Tabla 99. Caracterización de la duración de las sequías en el tramo 2-3 del río Tera	163
Tabla 100. Número medio de días al mes en los que el caudal es mayor que el caudal habitual del tramo 2-3	164
Tabla 101. Datos disponibles en régimen natural y alterado para el Estudio del tramo 2-3.....	167
Tabla 102. Años húmedos, medios y secos en régimen natural del tramo 2-3	168
Tabla 103. Aportaciones anuales máximas, mínimas y medias en régimen natural y alterado del tramo 2-3	169
Tabla 104. Aportaciones anuales por tipo de año en régimen natural y alterado del tramo 2-3.....	169
Tabla 105. Aportaciones mensuales en régimen alterado del tramo 2-3.....	171
Tabla 106. Magnitud de las aportaciones mensuales para los dos regímenes correspondientes al año ponderado del tramo 2-3	171
Tabla 107. Caudales correspondientes a los percentiles de excedencia del 10 y 90% del tramo 2-3	174
Tabla 108. Caracterización de la magnitud de las avenidas en ambos regímenes del tramo 2-3	174
Tabla 109. Caracterización de la variabilidad de las avenidas en ambos regímenes del tramo 2-3	175
Tabla 110. Caracterización de la duración de las avenidas en ambos regímenes del tramo 2-3.....	176
Tabla 111. Caracterización de la variabilidad de las sequías en ambos regímenes del tramo 2-3	177
Tabla 112. Caracterización de la magnitud de las sequías en ambos regímenes del tramo 2-3.....	177
Tabla 113. Índices de alteración hidrológica y de alteración global para valores habituales del tramo 2-3	179



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

Tabla 114. Índices de alteración hidrológica para avenidas del tramo 2-3.....	180
Tabla 115. Índices de alteración global para avenidas del tramo 2-3	181
Tabla 116. Índices de alteración hidrológica para sequías del tramo 2-3.....	181
Tabla 117. Índice de estacionalidad de las sequías mensuales en el tramo 2-3	181
Tabla 118. Índices de alteración global para sequías del tramo 2-3	182
Tabla 119. Datos disponibles en régimen natural y alterado para el Estudio del tramo 2-3 con IHA	182
Tabla 120. Caudales medios mensuales en ambos regímenes del tramo 2-3	186
Tabla 121. Porcentajes del factor de desviación máximos y mínimos de las crecidas y las disminuciones del tramo 2-3.....	186
Tabla 122. Resultados IHA para el grupo 2 de parámetros en ambos regímenes del tramo 2-3	187
Tabla 123. Resultados IHA de evaluación de temporalidad de caudales extremos en ambos regímenes del tramo 2-3.....	189
Tabla 124. Resultados IHA de evaluación de la frecuencia de pulsos bajos y altos en ambos regímenes del tramo 2-3.....	190
Tabla 125. Resultados IHA de evaluación de la duración de pulsos bajos y altos en ambos regímenes del tramo 2-3.....	192
Tabla 126. Media de los cambios diarios positivos de caudales (ascenso) y negativos (descenso) junto con factor de desviación de tales medias del tramo 2-3	193
Tabla 127. Categorías alta, media y baja del RVA para cada uno de los parámetros IHA analizados en el presente Estudio del tramo 2-3.....	194



ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Alteración hidrológica calculada a través del método RVA)	95
Ecuación 2. Ecuaciones empleadas en el modelo de corrección	99
Ecuación 3. Fórmula de transformación de datos del caudal 2	99
Ecuación 4. Fórmula de transformación de datos del caudal 3	99
Ecuación 5. Índice caudal base del tramo 1-2	143
Ecuación 6. Alteración hidrológica calculada a través del método RVA	149

1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

El río Tera se caracteriza por la presencia numerosas presas de uso hidroeléctrico en la cabecera y en el tramo entre Puebla de Sanabria y el río Esla (tramo medio y bajo); otra presión a añadir en el sistema es la presencia de zonas de cultivo en su zona baja, por lo que algunos embalses del tramo medio están destinados a regadío además de su uso hidroeléctrico. La Directiva Marco Europea del Agua (DMA, 2000/60/CE) establece que las aguas de la Comunidad Europea están sometidas a la creciente presión suponiendo el continuo crecimiento de su demanda, de buena calidad y en cantidades suficientes para todos los usos y plantea la necesidad de tomar medidas para proteger las aguas tanto en términos cualitativos como cuantitativos y garantizar así su sostenibilidad. De esta manera, se considera preciso evaluar la afección resultante de las presas mencionadas, conociendo así los principales aspectos afectados del sistema y proponiendo, en consecuencia, medidas correctoras.

En concreto, el presente Estudio analiza las zonas de tramo medio y bajo, ya que se encuentran sometidas a una intensa regulación hidrológica como consecuencia de la presencia de tres embalses (Cernadilla, Valparaíso y Nuestra Señora del Agavanzal) de uso hidroeléctrico y de regadío. Se considera necesario el análisis hidrológico de la zona para conocer la alteración resultante de estos embalses, así como de la presencia de zonas de regadío.

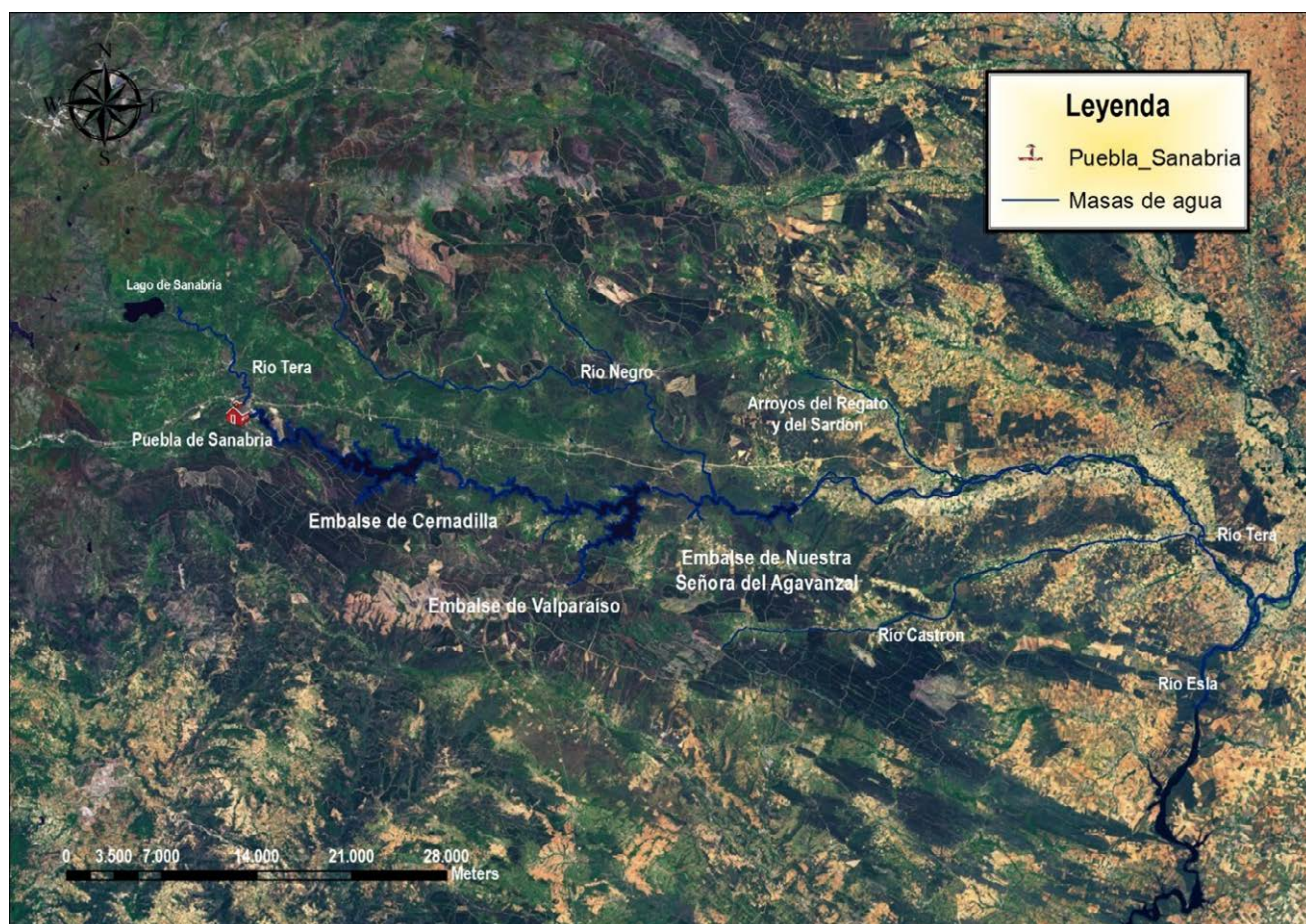


Figura 1. Mapa general de la zona de estudio. Embalses del bajo Tera y confluencia con el río Esla.
(Fuente: Elaboración propia)

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

Con el fin de obtener un estudio completo de la zona, se realizarán dos análisis de dos tramos distintos:

1. Tramo que comprende la zona desde Puebla de Sanabria hasta la presa de Nuestra Señora del Agavanzal, conocido como tramo 1-2.
2. Tramo desde la presa de Nuestra Señora del Agavanzal hasta la confluencia del río Tera con el Esla, llamado tramo 2-3.



2. OBJETIVOS

2. OBJETIVOS

Como se ha explicado anteriormente, el tramo de estudio se encuentra en las comarcas de Sanabria y Benavente (provincia de Zamora), comprendiendo desde el embalse de Cernadilla hasta la confluencia del río Tera con el Esla (esto equivale a una longitud del río de 92 kilómetros aproximadamente).

El principal objetivo del Estudio es la evaluación de la alteración hidrológica en el río Tera en dicho tramo. Este objetivo se desglosa en varios objetivos parciales:

1. Caracterización del sistema fluvial, que comprenderá:
 - i. La caracterización general de la zona de estudio.
 - ii. La caracterización del sistema fluvial.
 - iii. Las presiones e impactos.
 - iv. El estado de las masas de agua.
 - v. Las zonas protegidas situadas en la cuenca del Tera.
 - vi. Los objetivos ambientales fijados en el Plan Hidrológico de 2009.
 - vii. La asignación de reservas y recursos.
 - viii. Los caudales ecológicos según el Plan Hidrológico.
 - ix. La caracterización del sistema de embalses.
2. Caracterización hidrológica de los tramos 1-2 y 2-3, incluyendo:
 - i. La caracterización del régimen natural (entendido como el régimen del inicio del tramo).
 - ii. La evaluación de la alteración hidrológica (considerado como el régimen situado en el final de cada tramo).

Estos últimos objetivos parciales se llevarán a cabo a partir del empleo complementario de dos software basados en Índices de Alteración Hidrológica, ambos conseguirán ofrecer los objetivos del proyecto, mediante comparación de regímenes de caudales naturales y alterados:

1. **IAHRIS** (Índices de Alteración Hidrológica en Ríos), promovido por la Universidad Politécnica de Madrid (Martínez y Fernández, 2010): Para la caracterización del régimen natural de caudales, para la caracterización del régimen alterado en el tramo de estudio, para la evaluación de la alteración hidrológica y discriminación de los componentes del régimen más afectados; y para el establecimiento del régimen ambiental de caudales.
2. **IHA, Richter** (Indicators of Hydrologic Alteration), impulsado por The Nature Conservancy (Richter et. al, 1996): Al igual que el software anterior, se utiliza con el fin de conocer el régimen natural de caudales y el alterado. Con ello se evalúa la alteración hidrológica.



3. LEGALIDAD

3. LEGALIDAD

La Directiva Marco del Agua (DMA, 2000/60/CE) establece, a nivel europeo, el objetivo de la consecución de un buen estado ecológico de las masas de agua. Para ello es necesario la disposición de una serie de protocolos que permitan conocer objetiva y eficientemente el estado ecológico de estos ecosistemas fluviales. De forma que esta directiva (anexo V) cita concretamente el régimen hidrológico como componente a estudiar.

A nivel nacional, el Reglamento de Planificación Hidrológica (R.D. 907/2007, artículo 18) desarrolla el concepto de régimen de caudales ecológicos, con la siguiente definición: “El régimen de caudales ecológicos se establecerá de modo que permita mantener de forma sostenible la funcionalidad y estructura de los ecosistemas acuáticos y de los ecosistemas terrestres asociados, contribuyendo a alcanzar el buen estado o potencial ecológico en ríos o aguas de transición”. En consecuencia, La Instrucción de Planificación Hidrológica -IPH- (ARM/2656/2008, posteriormente modificada en algunos aspectos por ARM/1195/2011) determina el proceso de establecimiento del régimen de caudal ecológico en tres fases:

1. Estudios técnicos para la **identificación** y la **caracterización de las masas alteradas**. Definiéndose un régimen de caudales mínimos que resulten menos exigente para sequías prolongadas.
2. Fase de **concertación o acuerdo**, basado en: Información, consulta pública y participación activa.
3. Fase de **implementación** de lo acordado en la fase anterior, con el correspondiente **seguimiento** de adaptación.

Con el fin de conseguir los objetivos expresados en la Instrucción de Planificación Hidrológica (Artículo 3.4.1.1.) se definen componentes tales como: caudales mínimos y máximos, distribución temporal de anteriores caudales mínimos y máximos, caudales de crecida, tasas de cambio.

De esta forma tanto el Reglamento como La Instrucción de Planificación Hidrológica exponen un protocolo exhaustivo con la finalidad de establecer regímenes de caudales ecológicos y de la inclusión de estos en los planes de cuenca.

Los estudios técnicos de detalle se han realizado (entre los años 2008 y 2010), en algo más de un 10% de las masas de agua naturales correspondientes a las cuencas hidrográficas intercomunitarias.

Además de estos planes, la Estrategia Nacional de Restauración de Ríos (ENRR) se ha propuesto restaurar los ríos españoles afectados por presiones e impactos. La ENRR se basa en la impulsión de la gestión actual de estos ecosistemas fluviales, para que alcancen un buen estado ecológico y así mejorar su funcionamiento.

El Plan Hidrológico vigente de 2009 elaborado por la Confederación Hidrológica del Duero sigue las directrices marcadas por la Directiva Marco del Agua: prevenir el deterioro, mejorar el estado de los ecosistemas acuáticos y promover el uso sostenible del agua. La legislación española ha transformado y adaptado los objetivos tratándose, dicho Plan Hidrológico, de compatibilizar la consecución del buen estado de las aguas superficiales y subterráneas con atender las demandas, a través de una gestión racional y sostenible. Además, otro objetivo de gran importancia consiste en tratar de mitigar los efectos de las sequías e inundaciones.

El Plan Hidrológico del Duero del 2009 fija, en el Artículo A3 (segunda norma), un régimen de explotación que compatibilice demandas consuntivas, no consuntivas y medioambientales con la prioridad que se establezca y laminación de avenidas. Esta norma se encuentra referida a todo tipo de embalses, tanto estatales como particulares. En el Artículo A4 (punto 3) se hace referencia de nuevo al régimen de explotación de los embalses, en este caso de avenidas: “Fijar un régimen de explotación en cada embalse, que armonice la satisfacción de las demandas, con una garantía aceptable, con el máximo resguardo para laminación de



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

avenidas". Además en Artículo B11 se especifica que todas las centrales hidroeléctricas, dispongan o no de embalse de regulación, deben respetar el régimen de caudales ecológicos que se establezcan en las condiciones concesionales (o de las que puedan imponerse a posteriori).

En cuanto a los caudales ecológicos, la Confederación Hidrográfica del Duero (mediante el Plan Hidrológico explicado previamente) establece que se completarán los trabajos necesarios para la definición de caudales mínimos exigibles para conservar los ecosistemas acuáticos y de ribera (estudios de series históricas disponibles de aportaciones y calidad) con el fin de poder instaurar las variaciones naturales que regulan el funcionamiento de las comunidades biológicas más relacionadas con los recursos hídricos. Para ello se realizan los siguientes pasos:

- 🌱 Desarrollar estándares de calidad ecológica, con el objeto de establecer una serie de medidas de control de calidad adecuadas.
- 🌱 Definir tramos de interés preferente. La selección se enfocará hacia los tramos que: por su singularidad, requieran mayores esfuerzos para su preservación; aquellos tramos que necesiten ser recuperados, con la estimación del plazo de ejecución. En los tramos considerados de interés preferente, tanto para conservar como para recuperar, se llevará a cabo una minuciosa descripción cuantitativa de aspectos físicos, químicos y biológicos del hábitat, controlándose su desarrollo y evolución.
- 🌱 Por último, a modo de conclusión, se efectúa una modelización del comportamiento de los ríos desde el punto de vista ecológico. Conociendo de esta forma la influencia de los caudales circulantes y otros factores físicos (del cauce y la ribera) como son estaciones de aforo o extracciones de áridos, sobre la calidad biológica de tal tramo estudiado. Estos resultados deben estar en continua revisión, procurando realizar las decisiones de gestión en base a ellos.

Por tanto, el estudio de estos caudales mínimos (según la Confederación Hidrográfica del Duero) considera dos niveles, uno admisible y otro satisfactorio. Incluyendo una valoración económica de lo que supone su establecimiento para la producción hidroeléctrica.



4. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

4. CARACTERIZACIÓN GENERAL DE LA ZONA DE ESTUDIO

La información y datos de la ubicación del ecosistema fluvial se han obtenido mediante: fuentes consultadas, visitas de campo y sistemas de información geográfica. El territorio a estudiar se localiza en las comarcas de Sanabria y Benavente, en Zamora (Castilla y León). Por lo tanto, esta zona forma parte de la cuenca hidrográfica del Duero (cuenca con mayor superficie de la Península Ibérica), en concreto la cuenca del Tera se caracteriza por una superficie de 2412 km².

Es necesario mencionar que la caracterización del hábitat se ha realizado únicamente aguas abajo del embalse de Nuestra Señora de Agavanzal, tramo entre este embalse y la unión del río Tera con el Esla.

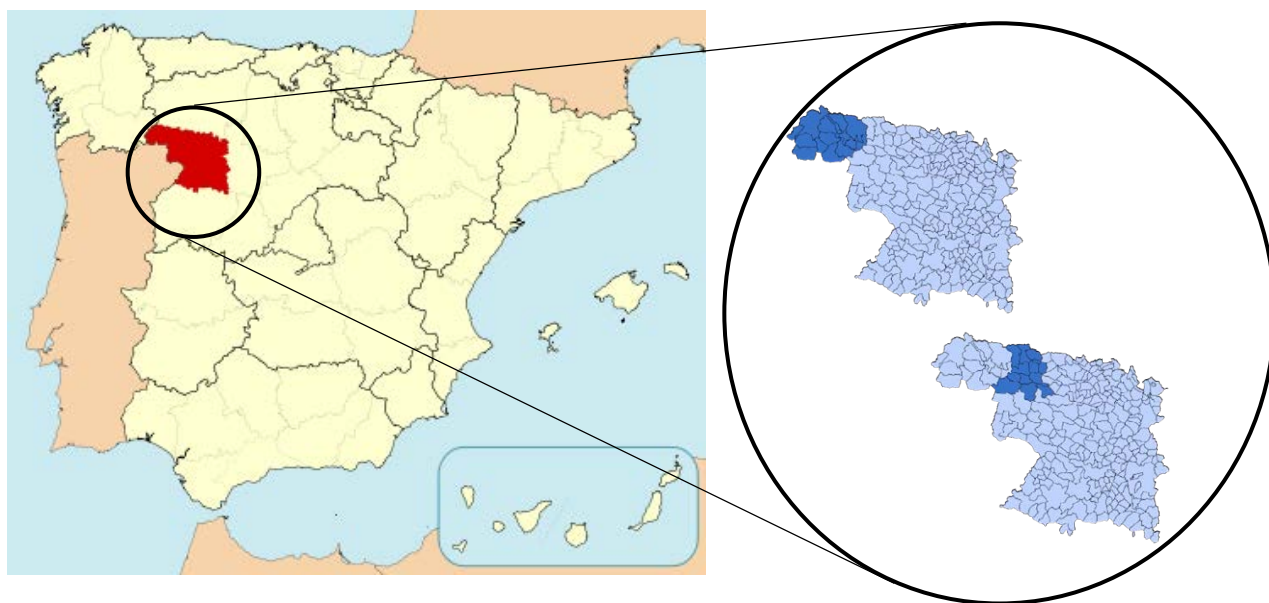


Figura 2. Mapa de situación del territorio a estudiar. (Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Provincia_de_Zamora)

En los siguientes apartados, se especificarán las características del tramo de estudio de modo general en sus aspectos más relevantes, como son: región biogeográfica, geología y geomorfología, climatología, vegetación de ribera, calidad del agua, régimen hidrológico, biota acuática y de ribera y usos del suelo.

4.1. ENCUADRE GENERAL

El sistema fluvial corresponde al río Tera, afluente del Esla que, a su vez, es afluente del río Duero.

Como puede observarse en la Figura 3, el tramo de estudio se encuentra en el Parque Natural Lago de Sanabria, al Noroeste de la provincia de Zamora. El río Tera tiene su nacimiento en el término municipal de Galende, concretamente en la Sierra de Vigo y por encima del conocido Lago de Sanabria, de donde discurre dirección O-E y desemboca en la margen derecha del río Esla (importante afluente del río Duero por su margen derecha) cerca de Betrocino, cambiando su dirección a sur (Wikipedia, 2014). Concretamente la zona de estudio se trata del territorio comprendido entre el embalse de Cernadilla (cerca de Puebla de Sanabria) hasta la confluencia del río Tera con el Esla, como anteriormente se ha explicado.

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO Esla

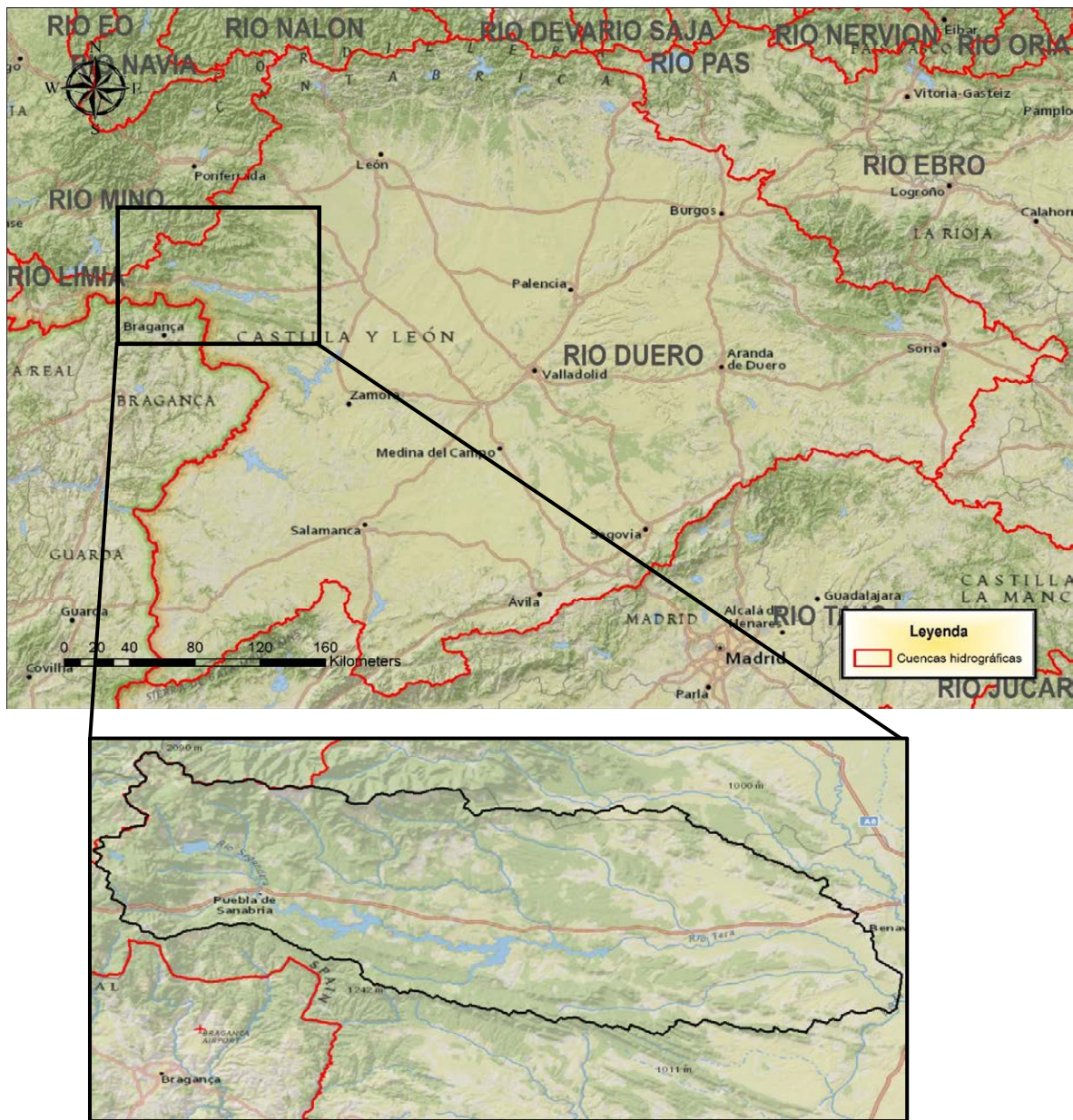


Figura 3. Mapa de la cuenca hidrográfica del Duero. Localización y detalle de la cuenca de la zona de estudio.
(Fuente: Elaboración propia)

En cuanto a los ríos y arroyos, considerados más relevantes, que confluyen en el tramo del río Tera seleccionado para el estudio encontramos:

- 🌿 Río Negro: uniéndose en la margen izquierda, entre el embalse de Valparaíso y el de Nuestra Señora de Agavanzal.
- 🌿 Arroyos del Regato y del Sardón: entre ellos se encuentran encadenados. A continuación del río Negro, a la margen izquierda del río Tera al finalizar el último embalse
- 🌿 Río Castrón: río que confluye con el Tera en su margen derecha, previamente a la confluencia de dicho río con el Esla.

Por último, resulta interesante conocer algunos de los pueblos cercanos al cauce del río Tera y, por tanto, de sus embalses: Puebla de Sanabria, Palacios de Sanabria, Asturianos, Cernadilla, Manzanal de Arriba, Villardecervos, Rionegro del Puente, Vega de Tera, Calzadilla de Tera, Camarzana de Tera, Santibáñez de Tera, Morales de Valverde, Santa María de Valverde, Ferreras de Abajo; entre otros.

4.2. REGIÓN BIOGEOGRÁFICA

La **Bioclimatología**, que podría denominarse también **Fitoclimatología**, es una ciencia ecológica que estudia la reciprocidad entre el clima y la distribución de los seres vivos en la Tierra. De manera que, Rivas-Martínez ha desarrollado una serie de mapas bioclimatológicos que ayudan a conocer la relación entre el clima y los seres vivos de una determinada zona.

En este caso, el tramo que se hace referencia en este proyecto queda definido, según Rivas-Martínez, como una zona correspondiente a una **región Mediterránea Ibérica del Oeste**; cuya subregión es Carpetano-Leonesa. Esto resulta en la idea de que, posiblemente, la vegetación que se encuentre en esta zona sea durilignosa: vegetación de plantas esclerófilas y adaptadas a la sequía. No solo contiene las etapas más maduras arbóreas (encinares, alcornocales, pinares, etc.) sino sus etapas de sustitución (coscojales, lentiscares, palmitares, retamales, romerales, tomillares, espartales, etc.).



Figura 4. Mapa Biogeográfico de Rivas-Martínez. (Fuente: www.globalbioclimatics.org)

4.3. GEOLOGÍA

En general, el noroeste de la Península Ibérica se caracteriza por la presencia de un suelo silíceo. En concreto en la zona de estudio, la comarca de Sanabria, se localiza una importante área de conglomerados de matriz areno-arcillosa.

Como se puede observar en el mapa de geología añadido a continuación (Figura 5) e incorporado en el Anexo I de MAPAS (datos de IGME utilizados para su elaboración) cerca de la red de drenaje de estudio, de los embalses principales, se ubican gneises y metagrauvacas, así como pizarras y cuarcitas.

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

En cambio, el tramo bajo del río Tera, desde el embalse de Nuestra Señora del Agavanzal hasta la confluencia del Tera con el Esla, se caracteriza por la presencia de conglomerados, arenas, areniscas y arcillas.

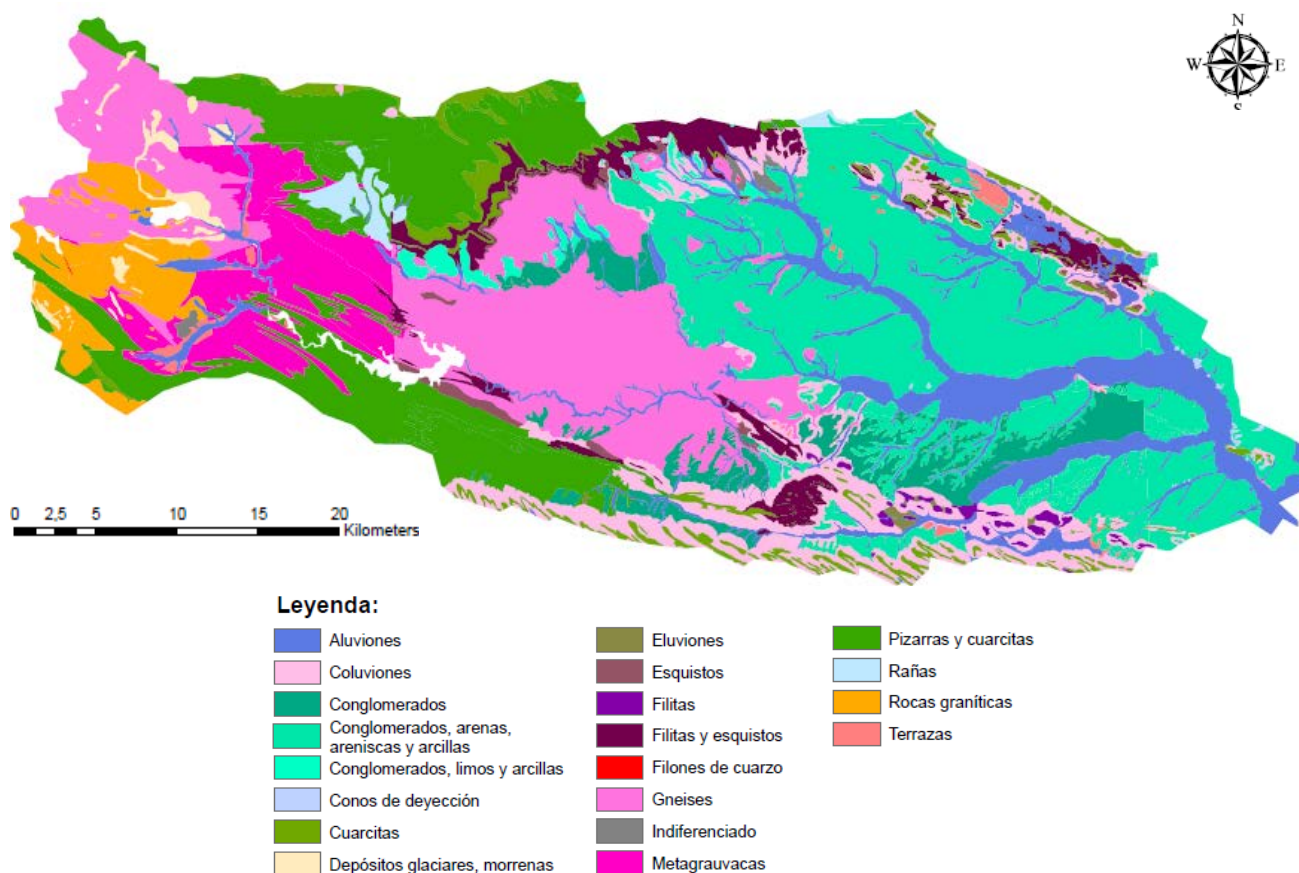


Figura 5. Mapa de Geología en la cuenca del río Tera.
(Fuente: Elaboración propia)

Esto quiere decir que, en la zona de cabecera, se localizan materiales más coherentes como pueden ser gneises, metagrauvacas, cuarcitas... y en la parte más baja del río Tera se presentan materiales más sueltos o incoherentes (conglomerados, arenas, arcillas, raías).

Además de la visualización de la geología, es necesario conocer la edafología y profundizar en los materiales litológicos visualizados: gneises, conglomerados de matriz areno y limo-arcillosa, pizarras y cuarcitas, depósitos glaciares... No obstante, no es el objetivo de este Estudio la profundización acerca de los materiales litológicos.

4.4. CLIMATOLOGÍA

El estudio individualizado del estado de la atmósfera y su comportamiento permite evaluar, con mayor precisión, su papel en la compleja red de relaciones que definan y caracterizan los sistemas ecológicos o ecosistemas. El clima se define como *“la situación atmosférica ideal (año medio o normal) en la que todos los elementos meteorológicos toman los valores medidos a lo largo de una serie de años, lo suficientemente larga como para que sea estadísticamente válida y geográficamente representativa”* (Font Tullot, 1983).

Para llevar a cabo el estudio climatológico de la zona a analizar, es necesario conocer el rango altitudinal entre el punto más alto de la zona y el más bajo. La diferencia de cotas marcará si este estudio debe realizarse según dos zonas o una, es decir, si esta diferencia es elevada (mayor de unos 500 metros) sería necesario dividir el territorio en zonas climáticas. En este caso, la diferencia altitudinal equivale a 215 metros, por lo tanto resulta acertado considerar un solo área de estudio climatológico.

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

La altitud media a partir de la cual se realiza el estudio es de 800 metros y, en base a esta, se elige la estación climatológica correspondiente a Villardeciervos (con una altitud de 864 metros). Es la estación más apropiada para el estudio, debido a su similitud en altitud con la altitud media, su rango de años de registros (desde 1959 a 2002, 44 años), así como su presencia en la cuenca del presente proyecto.

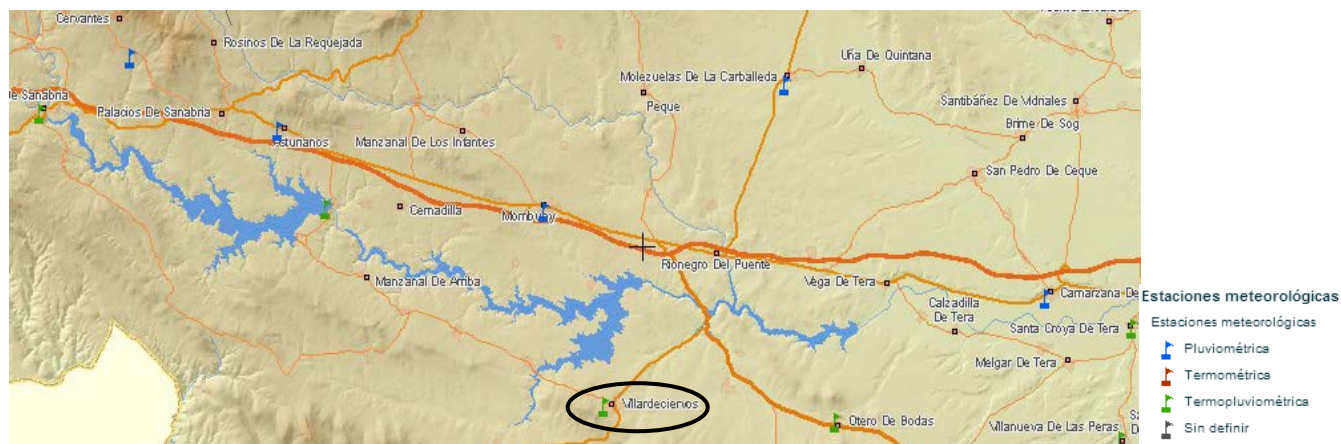


Figura 6. Mapa de estaciones meteorológicas (Fuente: Geoportal, MAGRAMA, <http://sig.magrama.es/geoportal/>)

Los valores del año medio sobre los cuales se va a trabajar son los recogidos en la siguiente Tabla:

ESTACIÓN: VILLARDECIERVOS (Nº 2775)

Mes	P _i	C _i	F _i	TMMC _i	TMMF _i	t _i
Enero	103.0	19.5	-21.5	7.8	-2.7	2.6
Febrero	95.0	20.0	-15.0	9.7	-1.8	4.0
Marzo	67.0	26.0	-11.0	12.1	-0.4	5.9
Abril	70.0	28.0	-9.0	14.9	1.4	8.1
Mayo	70.3	32.0	-7.0	18.0	4.1	11.0
Junio	45.8	36.0	-2.0	24.0	7.5	15.7
Julio	14.5	39.0	-9.0	27.4	9.0	18.2
Agosto	16.9	39.0	-1.0	27.6	8.3	18.0
Septiembre	37.0	39.5	-4.0	23.9	6.4	15.1
Octubre	77.4	31.0	-9.2	17.7	3.8	10.8
Noviembre	84.4	25.2	-13.0	11.9	0.3	6.1
Diciembre	104.5	18.0	-14.0	8.3	-1.5	3.4

Donde: P_i = precipitación mensual media (mm); C_i = temperatura mensual máxima absoluta (°C); F_i = temperatura mensual mínima absoluta (°C); TMMC_i = temperatura mensual media de las máximas (°C); TMMF_i = temperatura mensual media de las mínimas (°C); t_i = temperatura media mensual (°C).

Tabla 1. Resumen de las variables meteorológicas del Observatorio Meteorológico.
(Fuente: Elaboración propia)

Resulta interesante caracterizar tanto el régimen térmico como el pluviométrico, con el objeto de extraer la información más interesante desde el punto de vista fitoclimático.

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

Con estos datos es posible realizar una ficha de caracterización de los regímenes térmico y pluviométrico del Año Normal:




CARACTERIZACIÓN DE LOS REGÍMENES TÉRMICO Y PLUVIOMÉTRICO DEL AÑO NORMAL	
Régimen Térmico	
	♦ Mes más cálido:..... Julio/18.2 °C
	♦ Mes más frío:..... Enero/2.6 °C
	♦ Temperatura media de las mínimas del mes más frío:..... -2.7 °C
	♦ Temperatura media de las máximas del mes más cálido:..... 27.6 °C
	♦ Oscilación media anual de la temperatura:..... 30.3 °C
	♦ Temperatura media de las máximas en verano (Jul., Ago., Sep.):..... 26.3 °C
	♦ Máxima absoluta del período de observación:..... 39.5 °C
	♦ Mínima absoluta del período de observación:..... -21.5 °C
	♦ Meses con temperatura media inferior a 6°C:..... 4 (Dic., Ene., Feb. y Mar.)
	♦ Meses de helada probable:..... 8 (Abr., May., Jun., Jul., Ago., Sep., Oct. y Nov.)
	♦ Meses de helada segura:..... 4 (Dic., Ene., Feb. y Mar.)
Régimen Pluviométrico	
	♦ Mes más lluvioso:..... Diciembre/104.5 mm
	♦ Mes más seco:..... Julio/14.5 mm
	♦ Precipitación en invierno (Ene., Feb. y Mar.):..... 266.4 mm (33.9%)
	♦ Precipitación en primavera (Abr., May. y Jun.):..... 187 mm (23.7%)
	♦ Precipitación en verano (Jul., Ago., y Sep.):..... 68.4 mm (8.7%)
	♦ Precipitación en otoño (Oct., Nov., y Dic.):..... 266.3 mm (33.8%)
	♦ Estación más lluviosa:..... Invierno
	♦ Estación más seca:..... Verano
Período vegetativo	
	♦ Meses de parón vegetativo por frío ($T < 6^{\circ}\text{C}$):..... 4 (Dic., Ene., Feb. y Mar.)
	♦ Meses de parón vegetativo por aridez ($P < 2T$):..... 2 (Jul. y Ago.)
	♦ Meses de actividad vegetativa plena:..... 6 (Abr., May., Jun., Sep., Oct. y Nov.)

Figura 7. Caracterización de los regímenes térmico y pluviométrico del Año Normal.
(Fuente: Elaboración propia)

Como se puede observar, en la Figura 7 se incluye una ficha de caracterización que indica un clima que tenderá a ser mediterráneo con algunos rasgos de eurosiberiano. Con temperaturas medias mensuales mínimas de $-2,7^{\circ}\text{C}$ y una máxima de $27,6^{\circ}\text{C}$, lo cual resulta en un clima frío en invierno y fresco en verano, y en unas probabilidades muy altas de que se produzcan heladas.

En cuanto a las precipitaciones, los meses de invierno y otoño son los más lluviosos alcanzándose unas precipitaciones medias mensuales de 104,5 mm. Esta precipitación no resulta elevada tratándose de un clima cercano a regiones consideradas eurosiberianas. En los meses de verano se produce una bajada importante de las precipitaciones, el 8,7% de la precipitación media del año normal, lo cual es algo que cabe esperar.

Con el objetivo de establecer una correspondencia biunívoca entre clima y vegetación es necesario considerar como base las Subregiones fitoclimáticas propuestas por Allué Andrade (1995).

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

Estos dos análisis de los regímenes permiten identificar el periodo de actividad vegetativa y sus parones, manteniéndose una actividad vegetativa plena de 6 meses (en primavera y principios y mediados de otoño).

En este caso, el tramo estudiado pertenece a dos subtipos fitoclimáticos: VI y IV. Es decir, las subregiones encontradas en la zona de estudio dentro de la cuenca del río Tera son: mayoritariamente VI(IV)₁ y VI(IV)₂ de subtipo Nemoro-Mediterráneo genuino; el subtipo mediterráneo genuino atribuido a la subregión IV₃; IV(VI)₁ de subtipo Mediterráneo subnemoral. En la zona alta de la cuenca se encuentran las subregiones VIII(VI) y X(IX)₁, ambas se consideran excluidas del estudio climatológico puesto que no se localizan en la zona de análisis propósito de este proyecto, aunque resultaría erróneo no considerarlas influyentes. Estas subregiones se hallan ubicadas en el mapa de Subregiones Fitoclimáticas de España (incluido a continuación y en el Anexo I de MAPAS).

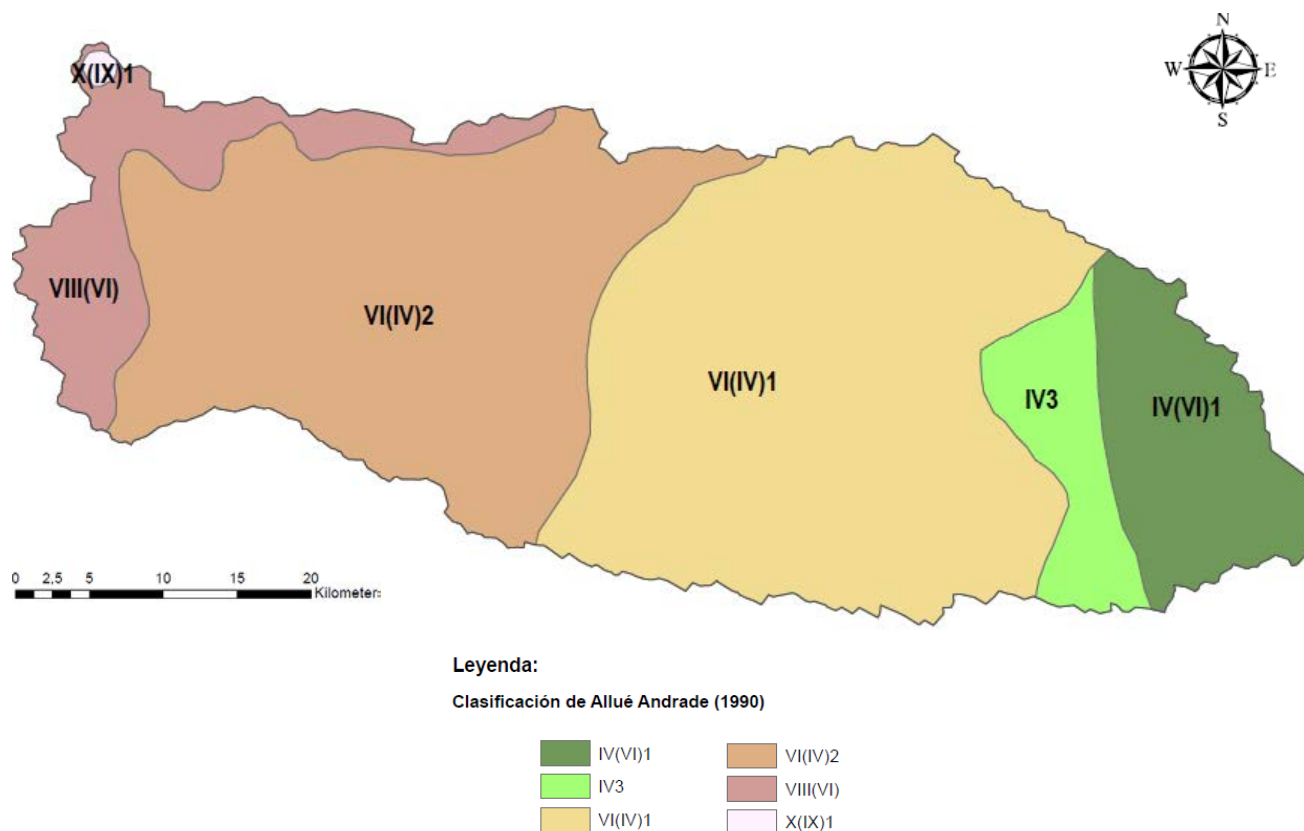


Figura 8. Mapa de Subregiones Fitoclimáticas en la cuenca del río Tera.
(Fuente: Elaboración propia)

VI(IV) ₁	<ul style="list-style-type: none"> • Nemorales marcescentes: <i>Quejigares, melojares</i> • Mediterráneas ilicinas: <i>Encinares, alsinares</i> • Mediterráneas no ilicinas: <i>Coscojares</i>
VI(IV) ₂	<ul style="list-style-type: none"> • Nemorales marcescentes: <i>Melojares, quejigares y robledales pubescentes</i> • Nemorales genuinas: <i>Hayedos y robledales pedunculados</i> • Mediterráneas ilicinas: <i>Encinares y alsinares</i> • Aciculiperennifolias: <i>Pinares de silvestre</i>
IV ₃	<ul style="list-style-type: none"> • Mediterráneas ilicinas: <i>Encinares, alsinares</i> • Mediterráneas no ilicinas: <i>Acebuchares, coscojares</i>
IV(VI) ₁	<ul style="list-style-type: none"> • Mediterráneas ilicinas: <i>Encinares y alsinares</i> • Nemorales marcescentes: <i>Melojares, quejigares y robledales pubescentes</i> • Mediterráneas no ilicinas: <i>Coscojares</i>

Figura 9. Subregiones fitoclimáticas de la clasificación de Allué Andrade (1990) presentes en la cuenca del río Tera.
(Fuente: Elaboración propia)

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

En las zonas de cabecera, no integradas en el estudio, las subregiones VIII(VI) y X(IX)₁ se corresponden con grupos de asociaciones climáticas como aciculiperennifolias (pinares de silvestre y pinares de moro) y nemorales marcescentes y genuinos (robledales pubescentes, melojares, quejigares, hayedos), en el primer caso. En X(IX)₁ estos grupos de asociaciones son tundroides (pastos alpinos).

Posteriormente, en el apartado de Usos del Suelo del presente estudio, se comprueba que tales formaciones vegetales son las presentes en la zona.

4.5. USOS DEL SUELO

En la cuenca del Tera se encuentran diferentes usos del suelo, básicamente estos se categorizan como: bosques (de coníferas, frondosas y mixtos), praderas naturales y prados, humedales y zonas pantanosas, matorrales boscosos y matorrales esclerófilos, mosaicos de cultivos, roquedos, tierras de labor en seco, zonas de extracción minera, zonas quemadas, tejido urbano, sistemas agroforestales, cultivos o terrenos regados permanentemente.

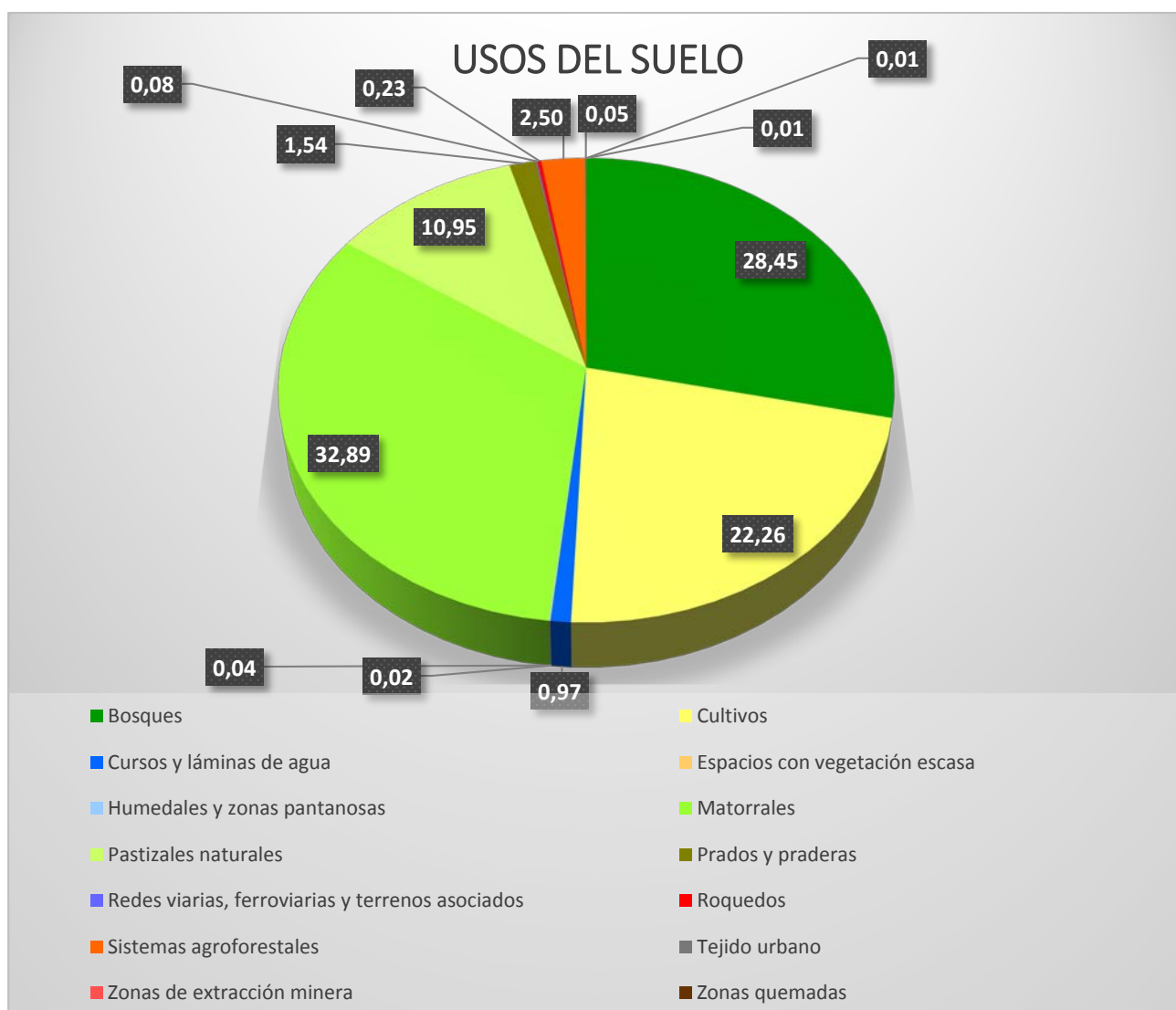


Figura 10. Distribución de los usos del suelo presentes en la cuenca del río Tera.
(Fuente: Elaboración propia)

Como se puede apreciar en la Figura 10 los usos del suelo de la cuenca que ocupan mayor superficie son tres: **matorrales** ocupan la mayor parte del terreno, en el epígrafe de **VEGETACIÓN** se especifican las principales

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

especies que los forman; **bosques**, que también encuentran una gran superficie en la cuenca, tanto de frondosas como de coníferas; **cultivos** ubicados en las zonas medias y bajas de la cuenca.

Los pastizales naturales tienen menor presencia que los anteriores, aunque no por ello menos significativa. Los sistemas agroforestales, prados y praderas y roquedos son muy escasos, estos últimos se localizan en las zonas de cabecera.

Por lo general, en la zona baja de la cuenca (desde el embalse de Nuestra Señora del Agavanzal hasta la confluencia del Tera con el Esla) se localizan zonas de cultivo: algunos que, además de ser principalmente agrícolas, cuentan con importantes espacios de vegetación natural; otros son las llamadas tierras de labor en secano; así como otros corresponden a olivares. Aunque es necesario destacar que en estas zonas también se encuentran bosques (de frondosas, coníferas o mixtos).

Los usos del suelo quedan representados por el Mapa de Usos del Suelo que se adjunta a continuación y en el Anexo de mapas (datos de elaboración del Mapa a partir de información de CORINE Land Cover). Como es posible observar, y como ha sido comentado previamente, las zonas de cabecera se caracterizan por la presencia de roquedos, prados, pastizales y matorrales, en zonas próximas que rodean el Lago de Sanabria se localizan bosques. Antes del embalse de Cernadilla se observan espacios con vegetación escasa, matorrales y bosques. El porcentaje de superficie ocupada por bosques y matorrales prevalece entre el embalse de Cernadilla y el embalse de Nuestra Señora del Agavanzal, con algunas teselas de cultivos. Mientras que, en el tramo final del río Tera, el porcentaje de superficie es mayor para los cultivos agrícolas. Esto queda corroborado con la información citada de las especies y las formaciones del Mapa Forestal Español en el epígrafe siguiente de **VEGETACIÓN**.

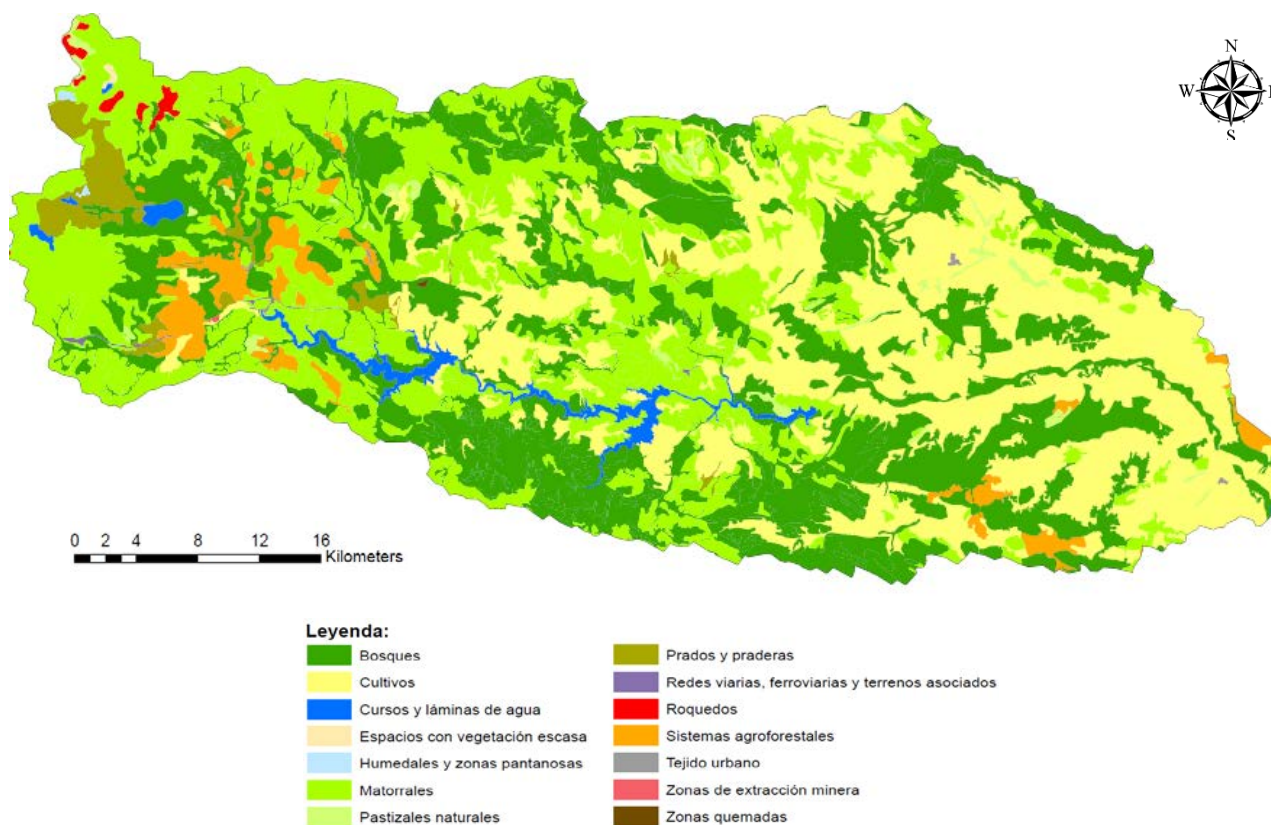



















Figura 11. Mapa de Usos del suelo en la cuenca del río Tera.
(Fuente: Elaboración propia)

4.6. VEGETACIÓN









A pesar de que más de un 23% de la cuenca se encuentra cubierta por cultivos agrícolas existen numerosas zonas arboladas que componen la cuenca del río Tera. Estas zonas de cultivos se encuentran en la zona media-baja del río Tera, como se ha comentado en el epígrafe anterior. Entre algunas especies arbóreas principales según el Mapa Forestal de España (MFE) que se localizan en la cuenca, caben destacar las siguientes, ordenadas por abundancia:

-  Rebollo (*Quercus pyrenaica* Willd.).
-  Encina (*Quercus ilex rotundifolia* L.).
-  Pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.).
-  Pino rodeno (*Pinus pinaster* Ait.).
-  Quejigo (*Quercus faginea* Lam.).
-  Aliseda (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.).
-  Pino salgareño (*Pinus nigra* Arnold.).
-  Álamo negro del Canadá (*Populus x canadensis* Moench.): híbrido de *Populus deltoides* Marshall. y *Populus nigra* L.
-  Chopo negro (*Populus nigra* L.).
-  Castaño (*Castanea sativa* Miller.).

Existen formaciones de especies de matorral (en base al MFE) que también deben ser consideradas, de nuevo ordenadas según su superficie ocupada en la cuenca:

-  Brezal xerófilo mixto.
-  Xesteira: en su mayoría especies del género *Cytisus*, la más destacada es *Cytisus multiflorus* (L'Hér.) Sweet.
-  Matorral mixto silicícola.
-  Formaciones de ericáceas: *Erica umbellata* L. y *Erica australis* L.
-  Jara pringosa (*Cistus ladanifer* L.).
-  Enebro (*Juniperus communis alpina* L.).
-  *Halimium alyssoides* (Lam.) Greuter.

En cuanto a las formaciones de herbáceas, se encuentran las siguientes modalidades (teniendo en cuenta de nuevo la clasificación del MFE):

-  Pastizales estacionales, densos y claros.
-  Prados de diente.
-  Prados de siega.
-  Pastizales leñosos mixtos: Especies xerófilas.
-  Junqueras mixtas y/o herbazales vivaces altos de "tabla".
-  Pastizales o herbazales vivaces con encharcamiento temporal.
-  Jaramagos (crucíferas): los géneros de *Diplotaxis* y *Brassica* entre otros.
-  Céspedes de altura, "braña de cumbres".

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

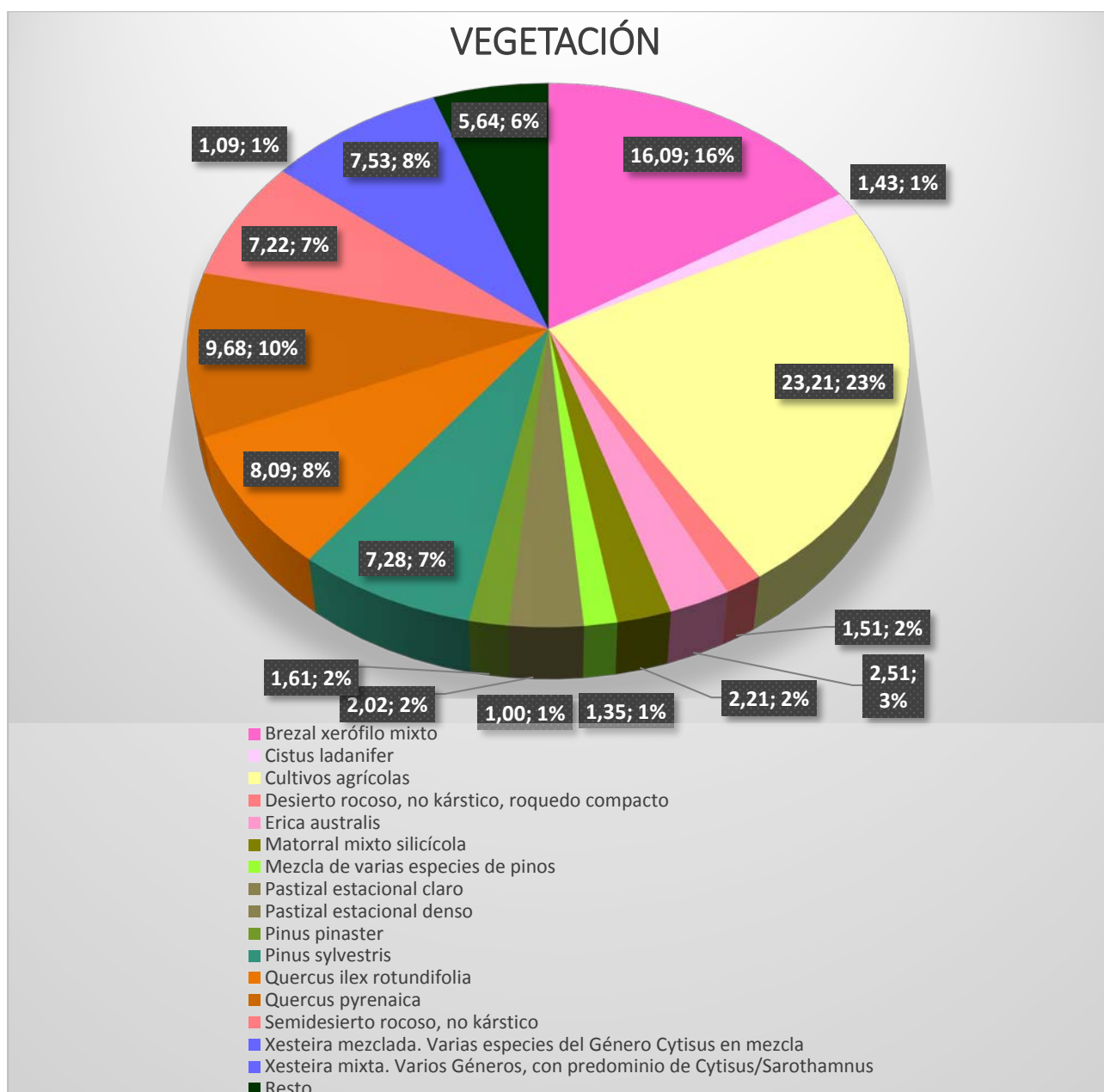


Figura 12. Distribución de la vegetación presente en la cuenca del río Tera.
(Fuente: Elaboración propia)

Mediante el Mapa de Vegetación en la cuenca de río Tera, adjuntado como Figura 13 e incluido en el Anexo I de MAPAS, se conoce que la cabecera de la cuenca se caracteriza por ser una zona desierta o semidesierta rocosa. A medida que se desciende por el río se observan teselas más forestales, las que se encuentran aguas arriba del embalse de Cernadilla se caracterizan por estar cubiertas con matorrales del género *Cytisus*, entre otros, en formación de xesteiras, además de la presencia de algunas frondosas como el rebollo. A la altura del embalse de Cernadilla se encuentran numerosas masas de pino silvestre, brezales mixtos, y la xesteira ya comentada con anterioridad. A continuación de dicho embalse y hasta casi el tramo final del río Tera (final del embalse de Nuestra Señora del Agavanzal) hay una mezcla de formaciones en las que abunda la presencia del rebollo y la encina, las xesteiras y los brezales xerófilos mixtos, y los pastizales estacionales y prados de siega. La zona baja de la cuenca del río se caracteriza por la significativa presencia de cultivos, mezclados con algunas teselas de encinas y prados de diente. En las cercanías del cauce se generan galerías arbóreas mixtas, han quedado estudiadas en el posterior apartado dedicado a la vegetación de ribera.

En general, la zona de estudio se caracteriza, en el tramo de los embalses, por una vegetación arbórea y de matorral (aunque se atisben ciertas zonas de cultivo). En cambio, en la zona desde el embalse de Nuestra

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

Señora del Agavanzal hasta el río Esla, figuran (como previamente se ha comentado) en abundancia sistemas de cultivo y labores de secano. Las formaciones arbóreas que se localizan en este segundo tramo son básicamente encinares de *Quercus ilex rotundifolia*.

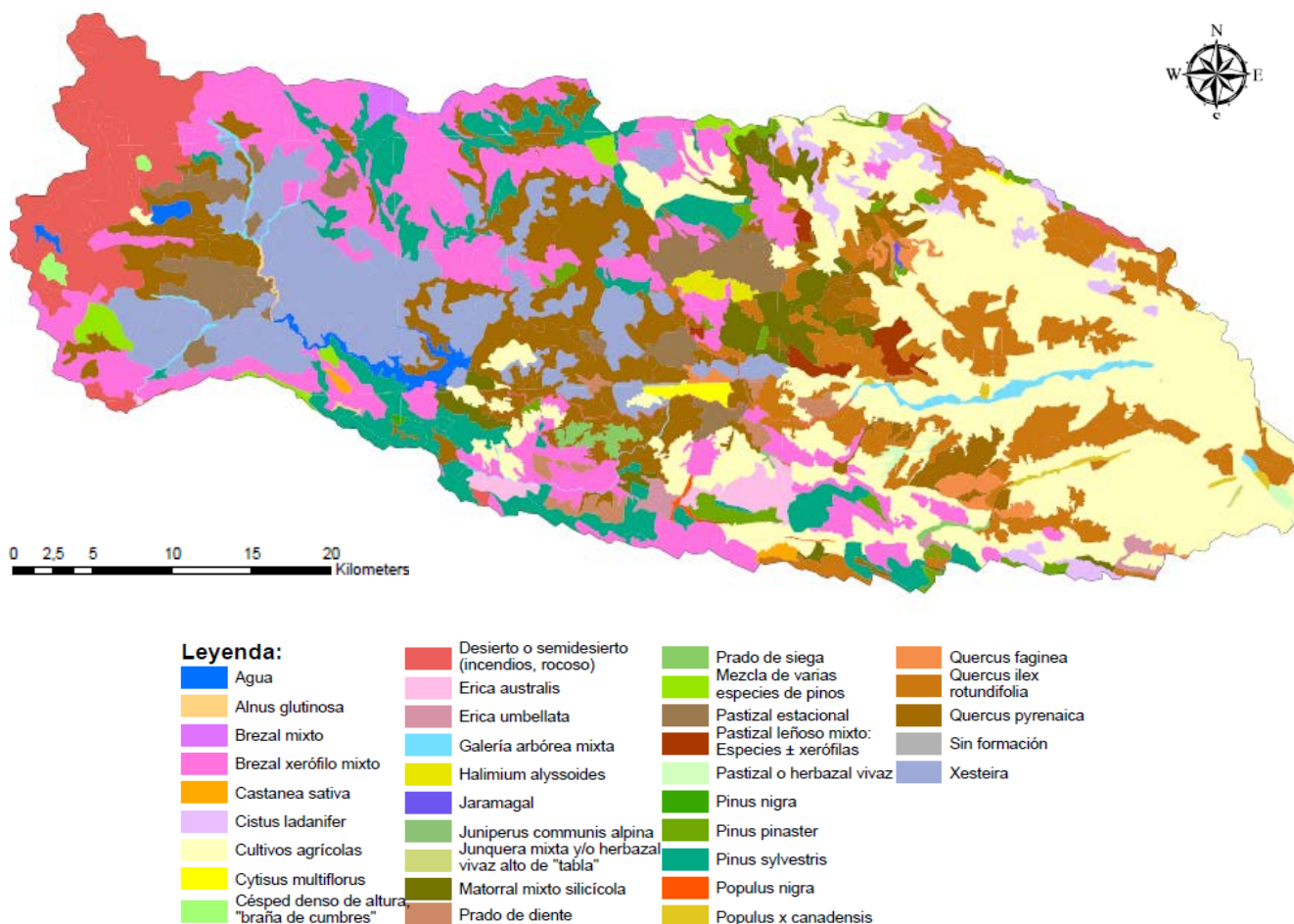


Figura 13. Mapa de Vegetación en la cuenca del río Tera.
(Fuente: Elaboración propia)

4.7. VEGETACIÓN DE RIBERA

El medio ripario constituye un refugio para especies típicas de climas más frío o húmedos en zonas más cálidas. Por ello, su presencia resulta de vital importancia.

El río Tera se encuentra considerado en dos zonas según su vegetación riparia:

- 🌿 Sierras Hercínicas, su parte occidental.
- 🌿 Submeseta Norte corresponde a su parte oriental.

Para cada una de estas zonas se describen una serie de comunidades características. En el caso de la parte más occidental de la cuenca, en la cual predominan los cursos de agua oligótrofos, dichas comunidades son:

- 🌿 Alisedas hercínicas
- 🌿 Saucedas negras continentales (variante oligótrofa)



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO Esla

- 🌿 Saucedas salvifolias
- 🌿 Fresnedas hidrófilas mediterráneas (variante oligótrofa y, en menor medida, mesótrofa)
- 🌿 Abedulares mediterráneos

Tratándose de la parte oriental de la cuenca, las principales comunidades son:

- 🌿 Alisedas mesótrofas continentales
- 🌿 Saucedas mixtas
- 🌿 Fresnedas hidrófilas mediterráneas (variante mesótrofa)
- 🌿 Saucedas blancas

4.8. BIOTA ACUÁTICA

Los elementos biológicos presentes en el río Tera se han recogido en la Tabla 2, especificándose cada taxón presente de cada punto de muestreo (Galende, Cernadilla, Valparaíso, Agavanzal y Calzadilla del Tera). Estos muestreos se han sucedido entre 2007 y 2010, por lo que los taxones acogidos en la Tabla 32 se encontraban presentes en ese rango de años.

TAXONES DEL CATÁLOGO DE ELEMENTOS BIOLÓGICOS					
Diatomeas		Macrófitos	Invertebrados		Peces
<i>Achnanthes atomus</i>	<i>Nitzschia acicularis</i>	<i>Audouinella</i>	<i>Athericidae</i>	<i>Anthomyiidae</i>	<i>Achondrostoma arcasii</i>
<i>Achnanthes bioretii</i>	<i>Ulnaria ulna</i>	<i>Lemanea</i>	<i>Baetidae</i>	<i>Aphelocheiridae</i>	<i>Cyprinus carpio</i>
<i>Achnanthes eutrophilum</i>	<i>Achnanthes macrocephalum</i>	<i>Anabaena</i>	<i>Chironomidae</i>	<i>Asellidae</i>	<i>Gobio lozanoi</i>
<i>Achnanthes minutissimum</i>	<i>Achnanthes pyrenaicum</i>	<i>Geitlerinema</i>	<i>Chloroperlidae</i>	<i>Caenidae</i>	<i>Luciobarbus bocagei</i>
<i>Achnanthes saprophilum</i>	<i>Achnanthes rivulare</i>	<i>Pseudanabaena</i>	<i>Corixidae</i>	<i>Ceratopogonidae</i>	<i>Pseudochondrostoma duriense</i>
<i>Diatoma mesodon</i>	<i>Achnanthes subatomoides</i>	<i>Oedogonium</i>	<i>Dolichopodidae</i>	<i>Coenagrionidae</i>	<i>Salmo trutta</i>
<i>Encyonema minutum</i>	<i>Adafia minuscula</i>	<i>Potamogeton pectinatus</i>	<i>Elmidae</i>	<i>Dryopidae</i>	<i>Squalius carolitertii</i>
<i>Fragilaria arcus</i>	<i>Brachysira neoexilis</i>	<i>Spirogyra</i>	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Dugesidae</i>	<i>Lepomis gibbosus</i>
<i>Fragilaria capucina</i>	<i>Cocconeis lineata</i>	<i>Zygnema</i>	<i>Erpobdellidae</i>	<i>Dytiscidae</i>	<i>Cobitis calderoni</i>
<i>Fragilaria vaucheriae</i>	<i>Eolimna minima</i>		<i>Gerridae</i>	<i>Empididae</i>	<i>Gambusia holbrooki</i>
<i>Gomphonema parvulum</i>	<i>Fragilaria rumpens</i>		<i>Gomphidae</i>	<i>Ephydriidae</i>	<i>Luciobarbus bocagei</i>
<i>Gomphonema rhombicum</i>	<i>Gomphonema acuminatum</i>		<i>Gyrinidae</i>	<i>Glossiphoniidae</i>	<i>Salmo trutta</i>
<i>Grunowia tabellaria</i>	<i>Gomphonema gracile</i>		<i>Heptageniidae</i>	<i>Halplidae</i>	<i>Esox lucius</i>
<i>Nitzschia recta</i>	<i>Gomphonema olivaceum</i>		<i>Hydropsychidae</i>	<i>Hydrophilidae</i>	
<i>Asterionella formosa</i>	<i>Gomphonema truncatum</i>		<i>Leptophlebiidae</i>	<i>Lepidostomatidae</i>	
<i>Aulacoseira ambigua</i>	<i>Navicula gregaria</i>		<i>Leuctridae</i>	<i>Leptoceridae</i>	
<i>Aulacoseira distans</i>	<i>Nitzschia acidoclinata</i>		<i>Limnephilidae</i>	<i>Lestidae</i>	
<i>Aulacoseira granulata</i>	<i>Nitzschia dissipata</i>		<i>Perlidae</i>	<i>Lymnaeidae</i>	
<i>Fragilaria tenera</i>	<i>Nitzschia palea</i>		<i>Perlodidae</i>	<i>Nemouridae</i>	
<i>Tabellaria fenestrata</i>	<i>Nitzschia paleacea</i>		<i>Pleidae</i>	<i>Notonectidae</i>	
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	<i>Planothidium frequentissimum</i>		<i>Polycentropodidae</i>	<i>Physidae</i>	
<i>Discostella pseudostelligera</i>	<i>Planothidium lanceolatum</i>		<i>Psychodidae</i>	<i>Psychomyiidae</i>	
<i>Aulacoseira nivalis</i>	<i>Ulnaria ulna</i>		<i>Rhyacophilidae</i>	<i>Siphonuridae</i>	
<i>Melosira varians</i>			<i>Sericostomatidae</i>	<i>Sphaeriidae</i>	
			<i>Astacidae</i>	<i>Tabanidae</i>	
			<i>Cambaridae</i>	<i>Tipulidae</i>	
			<i>Acariformes</i>	<i>Tipulidae</i>	
			<i>Ancylidae</i>	<i>Veliidae</i>	

GALENDE
CERNADILLA
VALPARAISO
AGAVANZAL
CALZADILLA

Tabla 2. Elementos biológicos presentes en los puntos de muestreo de Galende, Cernadilla, Valparaíso, Agavanzal y Calzadilla del Tera, para los años 2007-2010 (Fuente: Elaboración propia)



5. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA FLUVIAL

5. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA FLUVIAL

5.1. RÉGIMEN HIDROLÓGICO

La zona de estudio se encuentra en el tramo medio y bajo del río Tera.

5.1.1. RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES

Aguas abajo del Lago de Sanabria, el Tera presenta características fluviales típicas de montaña media-baja.

Aguas arriba del lago, el alto Tera presenta características fluviales de alta montaña y recorre un valle glaciar orientado norte-sur, retocado por la erosión fluvial posterior pero que conserva numerosas lagunas de sobreexcavación glaciar en sus márgenes (algunas de ellas represadas para ser utilizadas como embalses) y circos glaciares en las partes culminantes de los límites septentrionales de su cuenca de recepción.

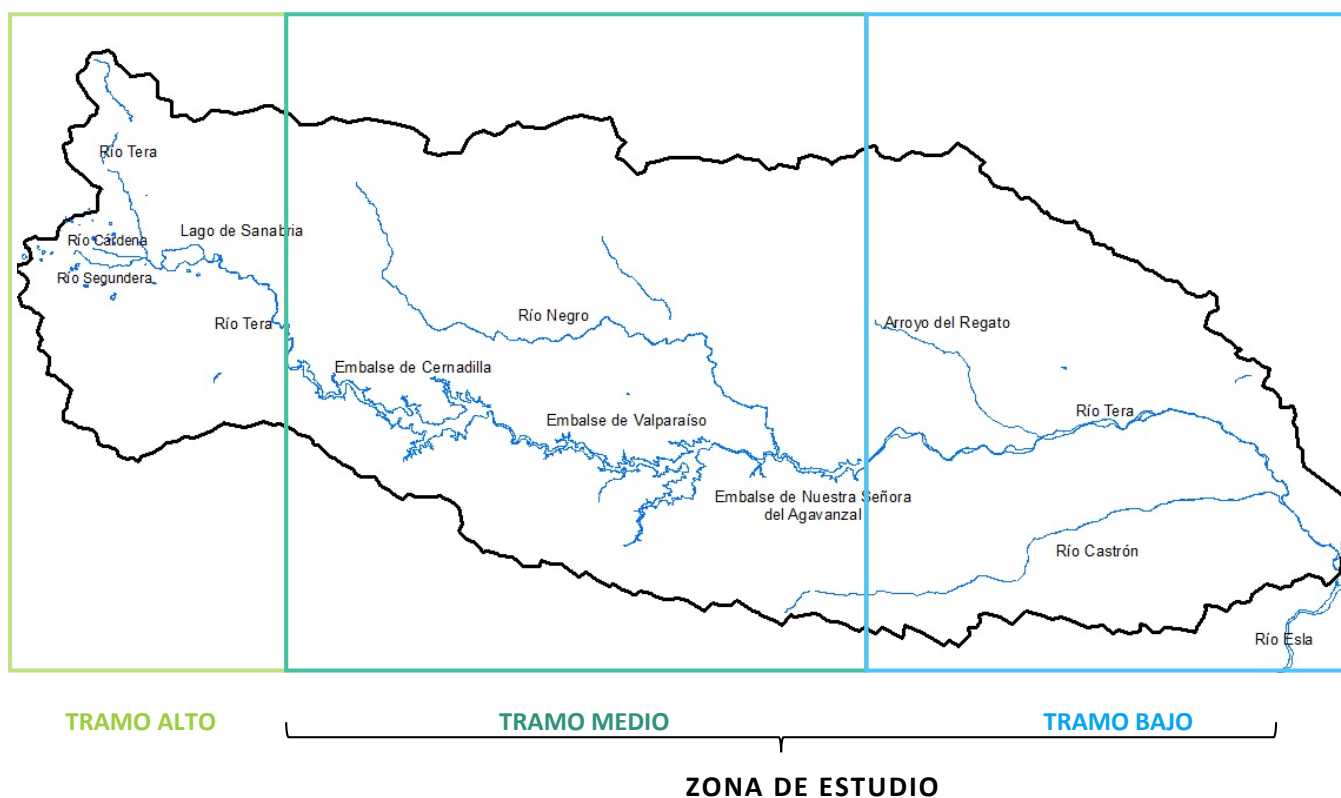


Figura 14. Red de drenaje, división en tramos y discriminación de la zona y el tramo de estudio
(Fuente: Elaboración propia)

En la Figura 15 se presentan las subcuencas que componen la cuenca del río Tera:

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

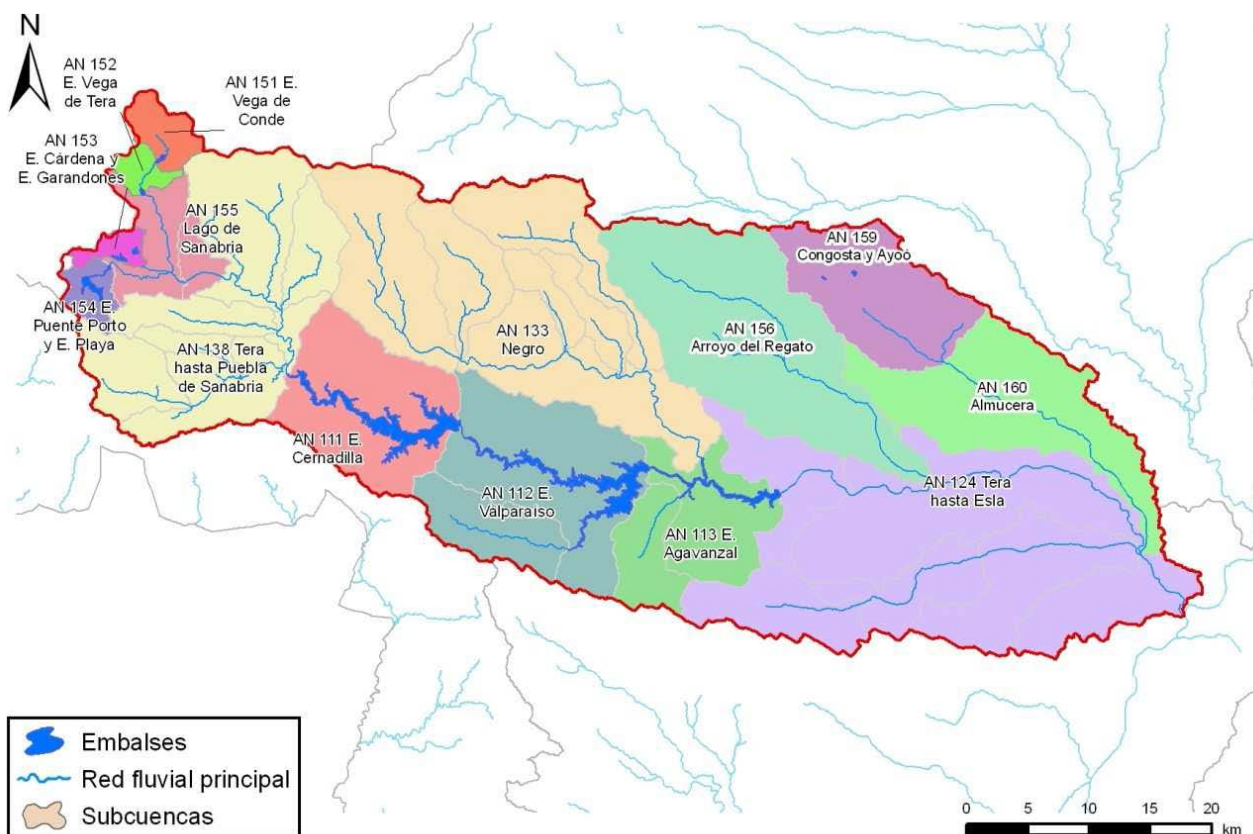


Figura 15. Subcuencas agregadas que conforman la aportación natural introducida en el modelo de simulación del Sistema de Explotación Tera. (Fuente: Plan hidrológico de la parte española de la demarcación hidrográfica del Duero, 2012)

5.1.1.1. TRAMO ALTO

El alto Tera y el Segundera, así como el lago de Sanabria, en el que estos desembocan, se localizan en la vertiente meridional de las sierras de La Cabrera y Segundera que constituyen el límite natural entre Galicia y Castilla y León, así como entre las provincias de León y Zamora.

La cabecera del Tera está formada por una serie de lagos y lagunas de origen glaciar rodeadas de turberas activas y roquedos silíceos. Entre estos lagos destaca el lago de Sanabria, el mayor lago de origen glaciar de la Península Ibérica.

Este tramo comprende el río Tera desde su cabecera hasta su salida de la población de Puebla de Sanabria, justo antes de su desembocadura en el embalse de Cernadilla. Incluye también a los afluentes que desembocan en este tramo. Por tanto, las masas de agua que se encuentran en la cabecera son:

- 🌿 Río Villarino y arroyo Vecilla.
- 🌿 Ríos Trefacio y Tera y arroyos de Carambilla y de la Forcadura.
- 🌿 Arroyo de las Truchas.
- 🌿 Ríos Segundera y Cárdena.
- 🌿 Lago de Sanabria.
- 🌿 Embalses Puente Porto y de Playa.
- 🌿 Pequeños embalses: Cárdena, Garandones, Vega de Conde, Vega de Tera.

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

El tramo alto o de cabecera se caracteriza por la presencia de pequeñas presas que constituyen el denominado “Sistema de Explotación del Tera” de uso hidroeléctrico, así como otras empleadas para retención.

Ríos Tera, Segundera y Cárdena (ambos tributarios del primero) constituyen una masa muy modificada, debido precisamente a los embalses mencionados anteriormente, dedicados al uso hidroeléctrico.

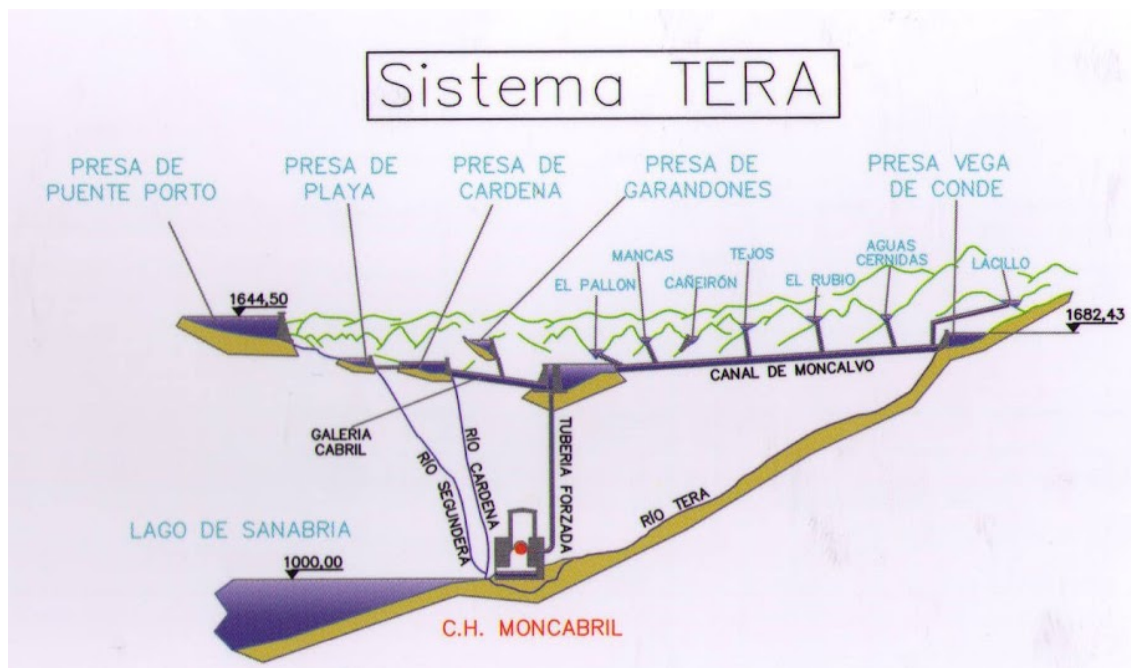


Figura 16. Esquema del Sistema de Explotación del Tera, uso en Central Hidroeléctrica Moncabril
(Fuente: www.embalses.net)

En la Figura 16 se aprecia la gran cantidad de presas que se emplean en la producción de energía hidroeléctrica para la Central de Moncabril. Esto genera una influencia de gran importancia en la cabecera del río Tera y, por tanto, en el tramo medio y el bajo (zona de estudio).

5.1.1.2. TRAMO MEDIO

El tramo medio se corresponde desde Puebla de Sanabria, o el inicio del embalse de Cernadilla, hasta el final del embalse de Nuestra Señora del Agavanzal.

Este tramo se caracteriza por los tres embalses de uso hidroeléctrico que lo componen: Cernadilla, Valparaíso y Nuestra Señora del Agavanzal. Cernadilla y Agavanzal son empleados para riegos además de hidroeléctrico, pero la variación del régimen en este sentido es mínima (únicamente en meses de verano y en pequeñas cantidades).

Su principal afluente es el río Negro, del embalse de Nuestra Señora del Agavanzal.

El estudio abarca este tramo medio, ya que se considera que la sucesión de embalses puede llegar a generar un grave impacto en el régimen de caudales y, por tanto, a la biota acuática y a la vegetación de ribera.

5.1.1.3. TRAMO BAJO

El último tramo del río abarca desde la presa de Nuestra Señora de Agavanzal hasta la confluencia del río Tera con el río Esla.

En este tramo se encuentran diferentes afluentes:



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

- Arroyo del Regato.
- Río Almuçera.
- Río Castrón.

Resulta interesante el estudio de esta zona, ya que se caracteriza por la presencia de numerosos cultivos. Esto genera algún tipo de alteración sobre el régimen de caudales, ya que el embalse de Agavanzal se emplea para riegos, como anteriormente se ha explicado.

5.1.2. RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS

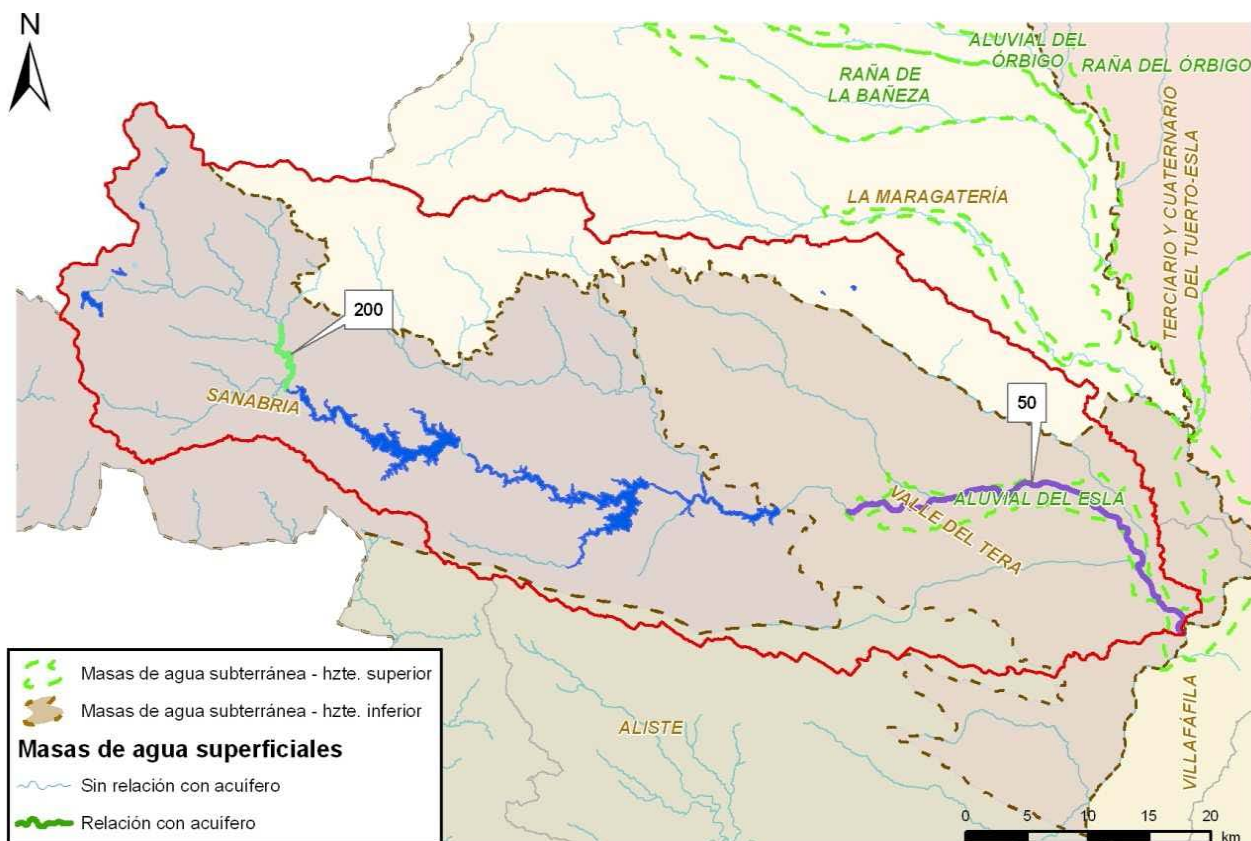


Figura 17. Acuíferos del Sistema de Explotación Tera. (Fuente: Plan hidrológico de la parte española de la demarcación hidrográfica del Duero, 2012)

Las masas de agua subterráneas a tener en cuenta en la zona de estudio son: Valle del Tera, Sanabria (Tera) y una menor superficie de Aliste, como puede observarse a través de la Figura 17.

5.1.3. RETORNOS

La localización de los puntos de incorporación de los elementos de retorno se muestra en el siguiente mapa:

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

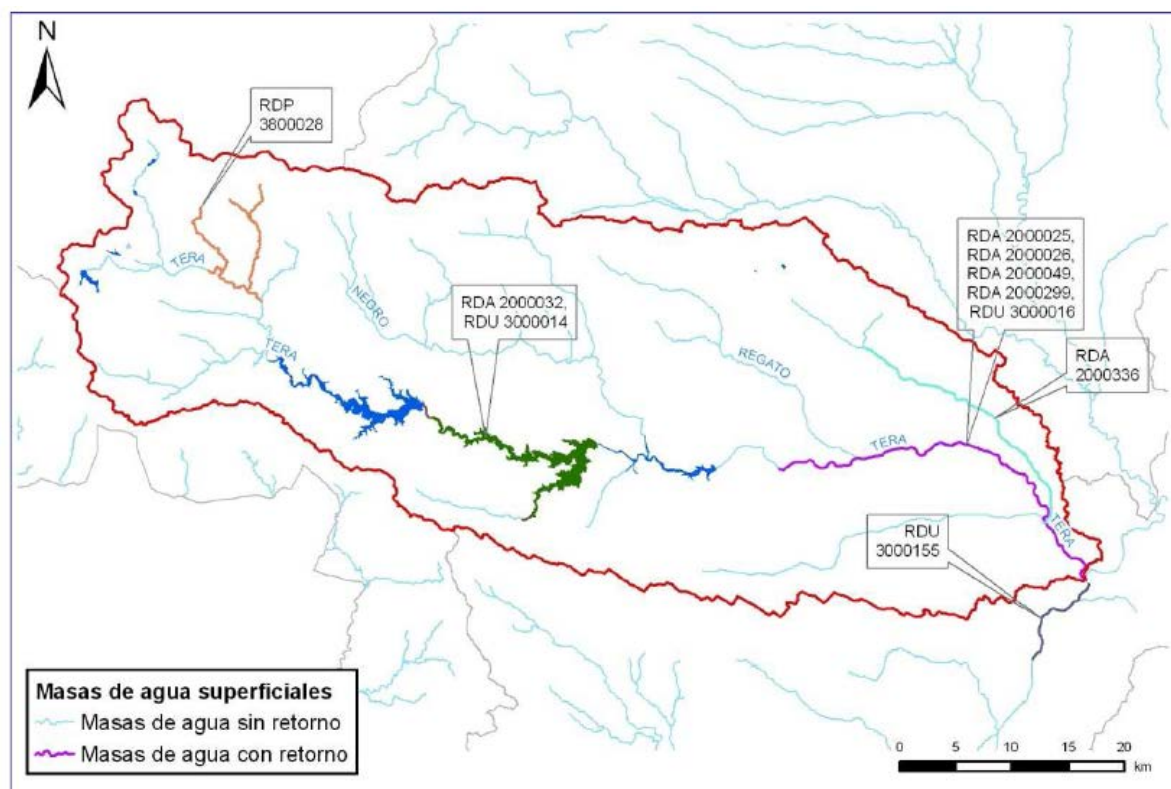


Figura 18. Retornos de las demandas del Sistema de Explotación Tera. (Fuente: Plan hidrológico de la parte española de la demarcación hidrográfica del Duero, 2012)

Como se puede observar, tales puntos de retorno se encuentran en la cabecera del río Tera, en el embalse de Valparaíso y otros puntos en la zona baja de la cuenca.

5.1.4. UNIDADES DE DEMANDA

En base al anejo 6 del citado Plan Hidrológico, las unidades de demanda del sistema fluvial se clasifican en: demandas urbanas, agrarias, piscícolas, industriales e hidroeléctricas. En este Estudio se han considerado útiles y, por tanto, se han evaluado, las dos primeras y la última. En el Anexo electrónico VII (*BALANCES DE LAS DEMANDAS*) se ofrecen una serie de tablas de balances para los años 2009, 2015, 2021 y 2027.

5.1.4.1. UNIDADES DE DEMANDA URBANA

A través de la Figura 19 es posible observar tres unidades de demanda urbana superficiales y otras tres subterráneas, “situación que se mantiene en los horizontes sucesivos en los que se constata una disminución del volumen demandado como consecuencia del decremento de población.” (Anejo 6 del Plan hidrológico de la parte española de la demarcación hidrográfica del Duero, 2012).

La unidad de demanda urbana correspondiente a Puebla de Sanabria se encuentra situada en la cabecera del río Tera, aguas arriba del sistema de embalses a estudiar en el presente documento. En cuanto a las otras dos unidades, se localizan en el desembalse de dicho sistema.

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

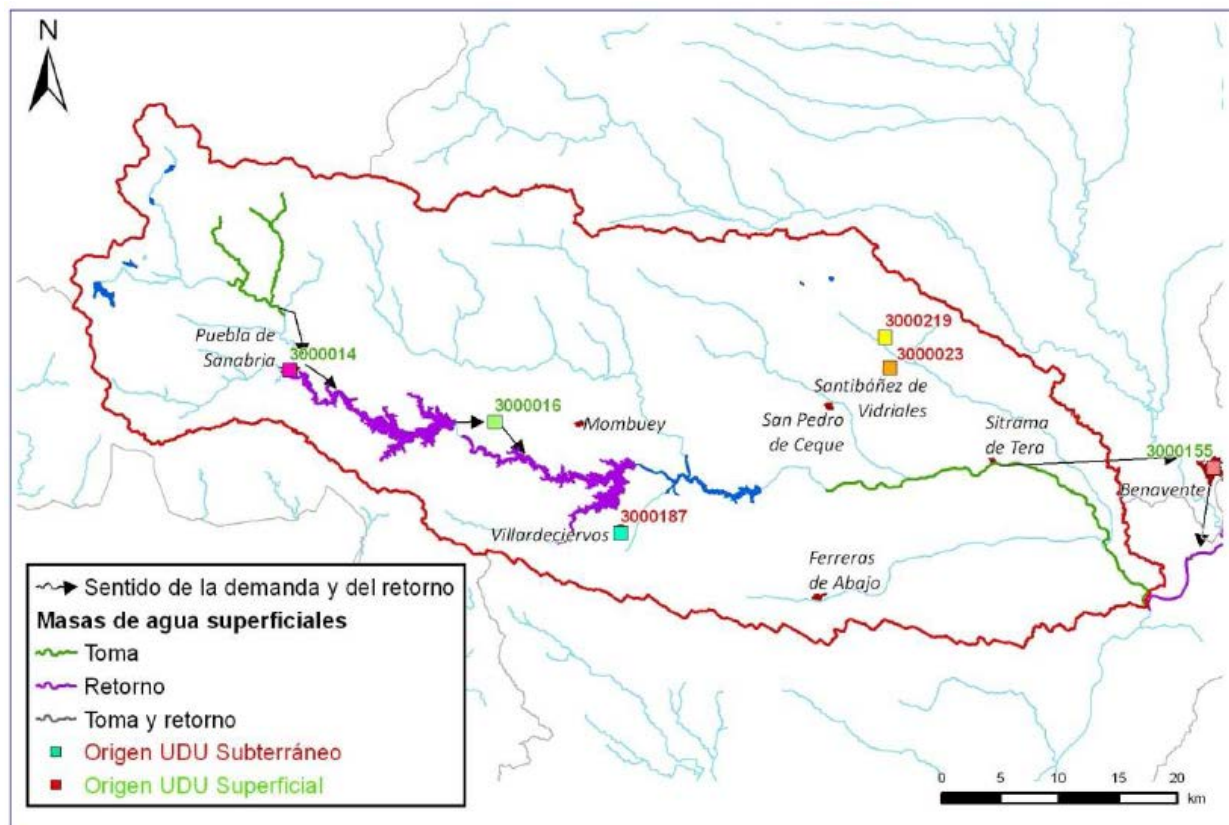


Figura 19. Unidades de demanda urbana del Sistema de Explotación Tera. (Fuente: Plan hidrológico de la parte española de la demarcación hidrográfica del Duero, 2012)

A continuación se exponen, a título informativo, los volúmenes y las dotaciones del sistema Tera para la Unidad de Demanda Urbana:

Nodo	UDU	Denominación	Volumen (hm ³)				Dotación (l/hab/día)			
			2009	2015	2021	2027	2009	2015	2021	2027
90	300001 4	Puebla de Sanabria	0,38	0,26	0,24	0,23	339	250	251	249
93	300001 6	Tera	0,11	0,25	0,22	0,19	342	248	250	250
226	300002 3	Bombeo Valle del Tera - Tera	0,52	0,39	0,33	0,28	265	251	249	252
35	300015 5	Benavente y Valle del Tera	3,52	3,75	3,74	3,70	247	267	268	269
226	300018 7	Bombeo Sanabria - Tera	0,98	0,56	0,51	0,45	282	250	250	251
226	300021 9	Bombeo La Maragatería - Tera	0,22	0,11	0,09	0,08	338	246	253	251
Totales			5,72	5,30	5,13	4,92	263	261	263	264

Tabla 3. Unidades de demanda urbana del Sistema Tera: volumen y dotación. (Fuente: Plan hidrológico de la parte española de la demarcación hidrográfica del Duero, 2012)

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO Esla

5.1.4.2. UNIDADES DE DEMANDA AGRARIA

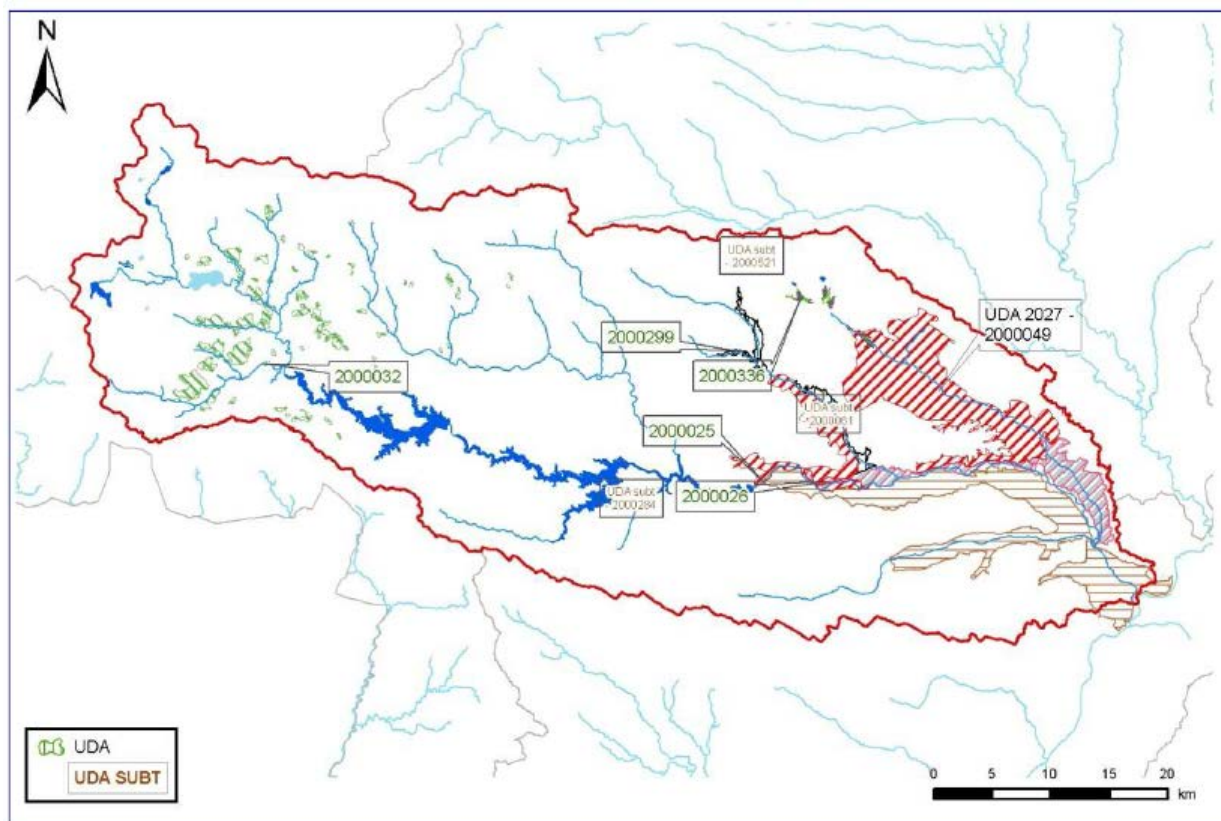


Figura 20. Unidades de demanda agraria del Sistema de Explotación Tera. (Fuente: Plan hidrológico de la parte española de la demarcación hidrográfica del Duero, 2012)

El sistema fluvial Tera se compone de nueve unidades de demanda agraria, tres de ellas se aprovechan de los embalses mencionados y sus extensiones pueden apreciarse en el Mapa anterior y en la Tabla 4.

Nodo	UDA	Denominación	Superficie (ha)				Volumen anual demandado (hm ³)				Dotación (m ³ /ha)			
			2009	2015	2021	2027	2009	2015	2021	2027	2009	2015	2021	2027
109	2000025	ZR MD DEL RÍO TERA	7452	7452	7452	7452	91,14	52,26	52,63	52,63	12231	7013	7062	7062
33	2000026	RP MI DEL RÍO TERA	2158	2158	2158	2064	19,78	14,96	15,06	14,42	9165	6931	6980	6989
90	2000032	RP CABECERA RÍO TERA	1430	1430	1430	1430	7,12	5,45	5,45	5,45	4980	3809	3809	3809
9	2000049	ZR MI RÍO TERA	0	0	0	6962				49,17				7062
120	2000061	BOMBEO VALLE DEL TERA (Tera)	175	175	175	73	0,92	0,91	0,92	0,38	5260	5199	5231	5231
120	2000284	BOMBEO SANABRIA (Tera)	81	84	87	90	0,27	0,28	0,29	0,29	3279	3277	3277	3277
205	2000299	RP ARROYO DEL REGATO	454	454	454	205	3,95	2,98	3,00	1,34	8703	6573	6619	6510
210	2000336	RP AYOÓ DE VIDRIALES	261	261	261	198	1,85	1,83	1,84	1,40	7107	7013	7062	7062
120	2000521	BOMBEO LA MARAGATERÍA (Tera)	54	54	54	14	0,22	0,22	0,22	0,06	4063	4037	4051	4051
Total			12065	12068	12071	18488	125,3	78,9	79,4	125,1	10381	6537	6579	6769

Tabla 4. Unidades de demanda agraria del Sistema Tera: superficie, volumen y dotación. (Fuente: Plan hidrológico de la parte española de la demarcación hidrográfica del Duero, 2012)

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO Esla

5.1.4.3. UNIDADES DE DEMANDA HIDROELÉCTRICA

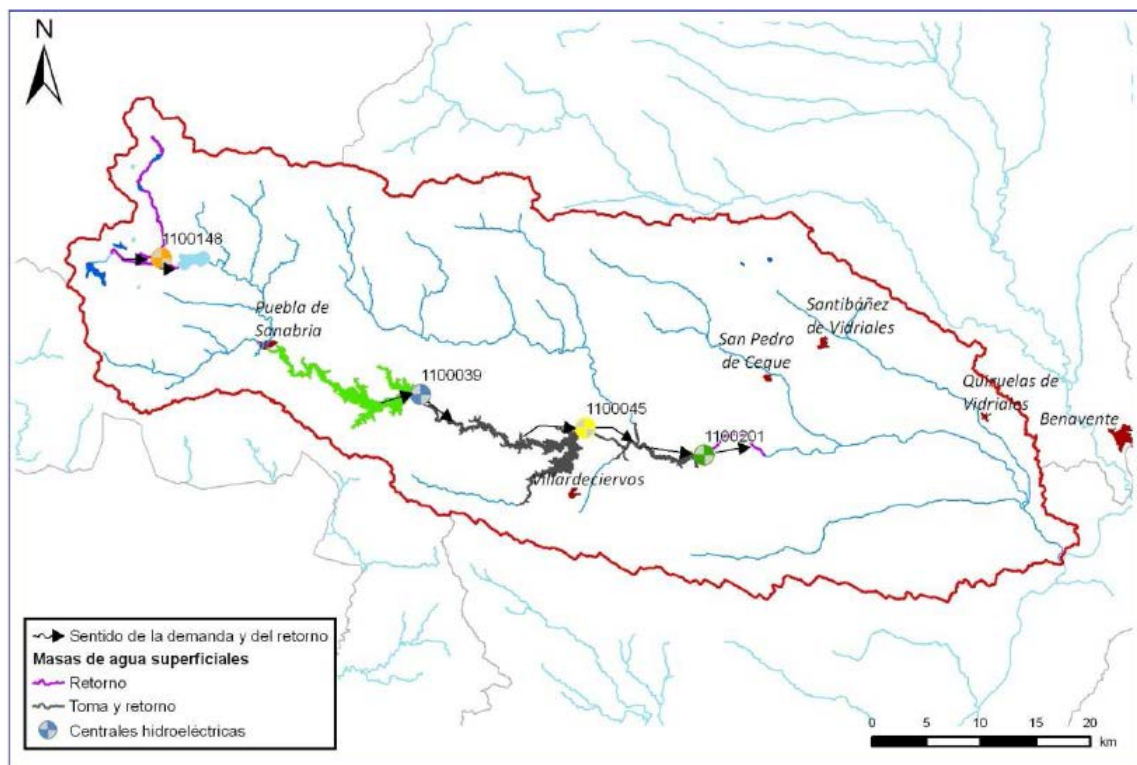


Figura 21. Unidades de demanda hidroeléctrica del Sistema de Explotación Tera. (Fuente: Plan hidrológico de la parte española de la demarcación hidrográfica del Duero, 2012)

El río Tera consta de cuatro centrales hidroeléctricas (Cernadilla, Valparaíso, Agavanzal y Moncabril) y los aprovechamientos relacionados con ellas se gestionan a través de embalses para regular el caudal turbinado. La central hidroeléctrica de Moncabril se sitúa en la cabecera del Tera con los embalses de Cárdena, Puente Porto, Playa y Garandones, mientras que las otras tres corresponden a los embalses del tramo medio.

Nombre de la central	Caudal máximo (hm ³)	Salto (m)	Cota Central (msnm)	Cota mínima turbinada (msnm)	Coefficiente energético (GWh/(hm ³ ·m))
Cernadilla	155,52		833	856	0,00245
Valparaíso	409,54		785	821	0,00245
Agavanzal	173,66		749	772	0,00245
Moncabril	21	573			0,002314

Tabla 5. Características de las centrales hidroeléctricas del Sistema de Explotación Tera. (Elaboración propia)

5.2. PRESIONES E IMPACTOS

Las presiones ejercidas en la cuenca del Duero se pueden clasificar, según el Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero (2012), en presiones en las masas de agua superficial y en las masas de agua subterránea.

5.2.1. PRESIONES SOBRE MASAS DE AGUA SUPERFICIAL

Las presiones ejercidas sobre las masas superficiales que constituyen el río Duero y, en este caso el río Tera, son aquellas correspondientes con la contaminación, la regulación del flujo (mediante embalses, como se estudia en este documento), las alteraciones morfológicas, los usos del suelo, así como otras actividades antrópicas que afectan al medio acuático.

En cuanto a la **contaminación de las aguas**, bien puede ser por **fuentes puntuales** (vertidos urbanos, industriales, mineros...) o **por fuentes difusas** (procedentes de Agricultura, ganadería, vertidos accidentales).

El Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero (2012) ha estimado un total de 1889 **fuentes puntuales de contaminación** sobre aguas superficiales, destacando los vertidos urbanos y los industriales.

El siguiente mapa muestra cuál será el estado ecológico de las masas superficiales que constituyen la cuenca del Duero para el año 2015 de seguir con las presiones ejercidas. Es posible observar que la zona de estudio tratada (río Tera) se encuentra dentro de la categoría de ríos muy modificados, aunque sus afluentes se caractericen por un estado ecológico bueno o muy bueno.

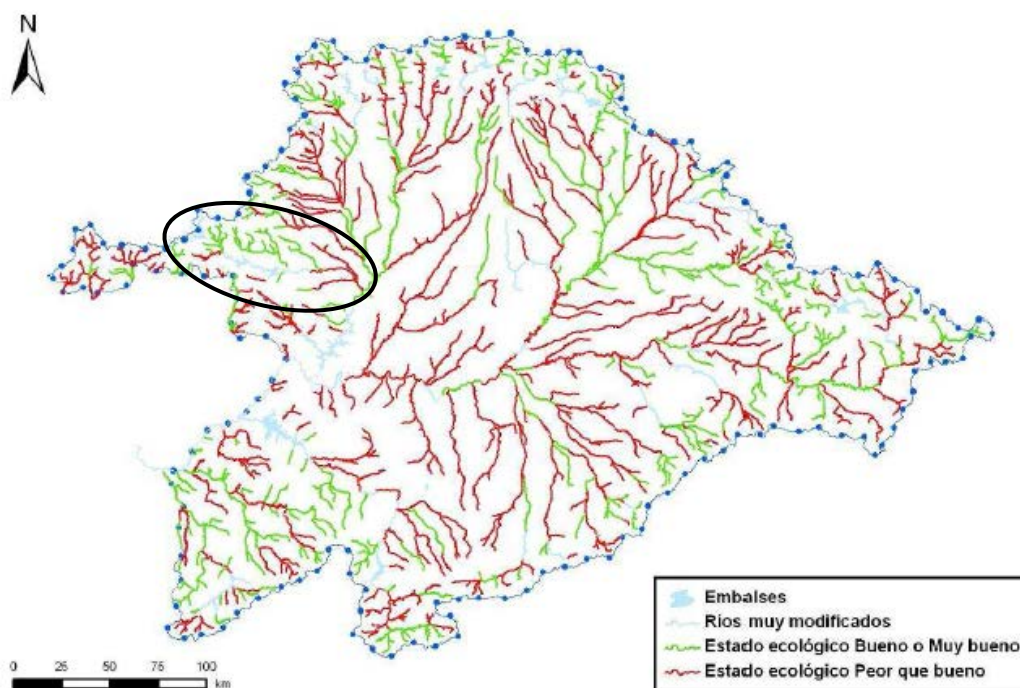


Figura 22. Mapa de estado ecológico de las masas de agua superficial naturales de la categoría río para el año 2015.
(Fuente: Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero, 2012)

En cuanto a las **fuentes difusas de contaminación**, en la cuenca del río Tera pueden encontrarse sistemas agrícolas y zonas ganaderas que afecten al sistema fluvial, pero no significativamente. En el caso de extracciones mineras, es posible encontrar varios enclaves a lo largo de la cuenca del Tera, sin que ello haya implicado graves impactos en el medio.

Las **alteraciones morfológicas y regulaciones de flujo**, en cambio, constituyen un verdadero impacto en la zona de estudio. La presencia de azudes y presas generan un grado de fragmentación en el hábitat fluvial que, aunque bajo, debe ser considerado, así como los desvíos de agua para zonas agrícolas propias de la parte baja del río Tera, como puede observarse en la Figura 23.

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

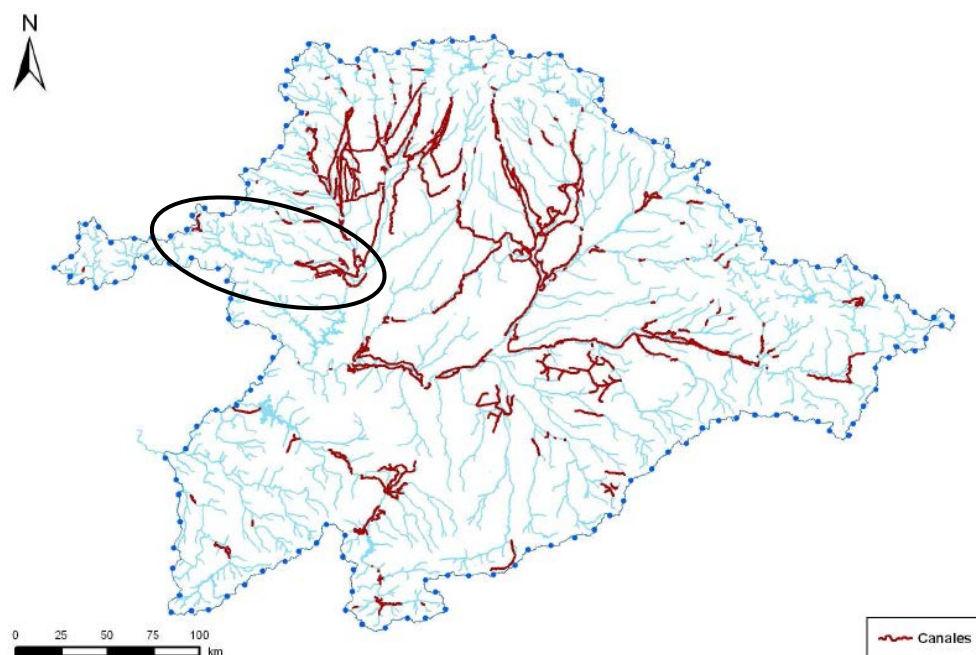


Figura 23. Mapa de distribución de canales de trasvase o desvío de aguas. (Fuente: Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero, 2012)

Otras presiones, tales como **dragados de ríos**, generan grave impacto en los afluentes del río Tera (mostrándose en el Figura 24, por ejemplo, el río Castrón) constituyendo una limpieza del cauce hasta un cambio de la morfología de su sección.

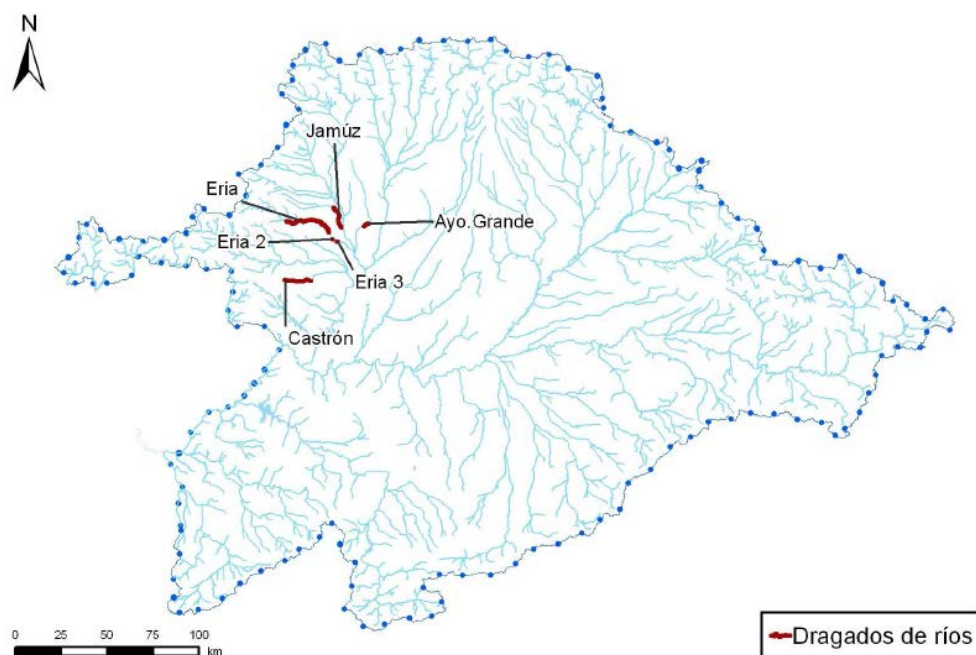


Figura 24. Mapa de distribución de dragados de río (Fuente: Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero, 2012)

Un aspecto que afecta a las masas superficiales de agua y que, bajo este estudio, debe ser considerado significativo es el **recrecimiento de lagos**. Esta presión es ejercida con el fin de obtener mayores beneficios hidroeléctricos. En la cuenca del Tera se localizan varias obras transversales para aprovechamiento hidroeléctrico como en el apartado de **RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES** ha quedado mencionado. No obstante, La Laguna de Cárdena es la que presenta una afección importante por este recrecimiento.

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

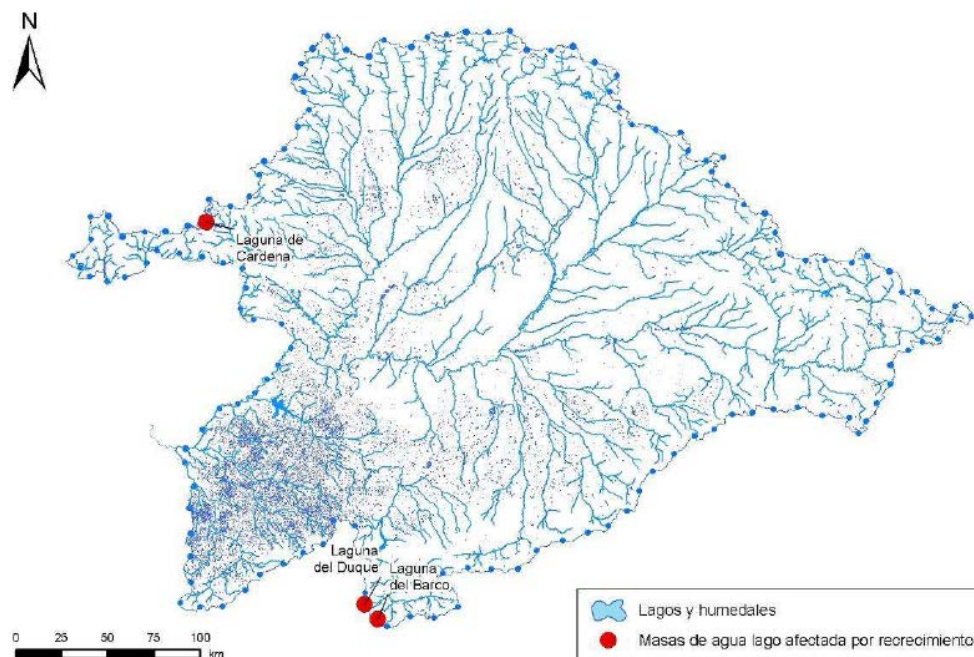


Figura 25. Mapa de localización de masas de agua de lago afectadas por recrecimiento (Fuente: Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero, 2012)

Otras presiones sobre estas masas es la **introducción de especies alóctonas**, los **suelos contaminados**, los **cotos de pesca y otras actividades acuáticas**. A través de la Figura 26 es posible observar cómo las tres zonas donde se encuentran las especies introducidas son las correspondientes con los embalses estudio de este documento: Cernadilla, Valparaíso y Nuestra Señora del Agavanzal. En cuanto a los suelos contaminados, se encuentran afectados aquellos pertenecientes a la cabecera del río Tera y su tramo bajo, en su unión con el Esla.

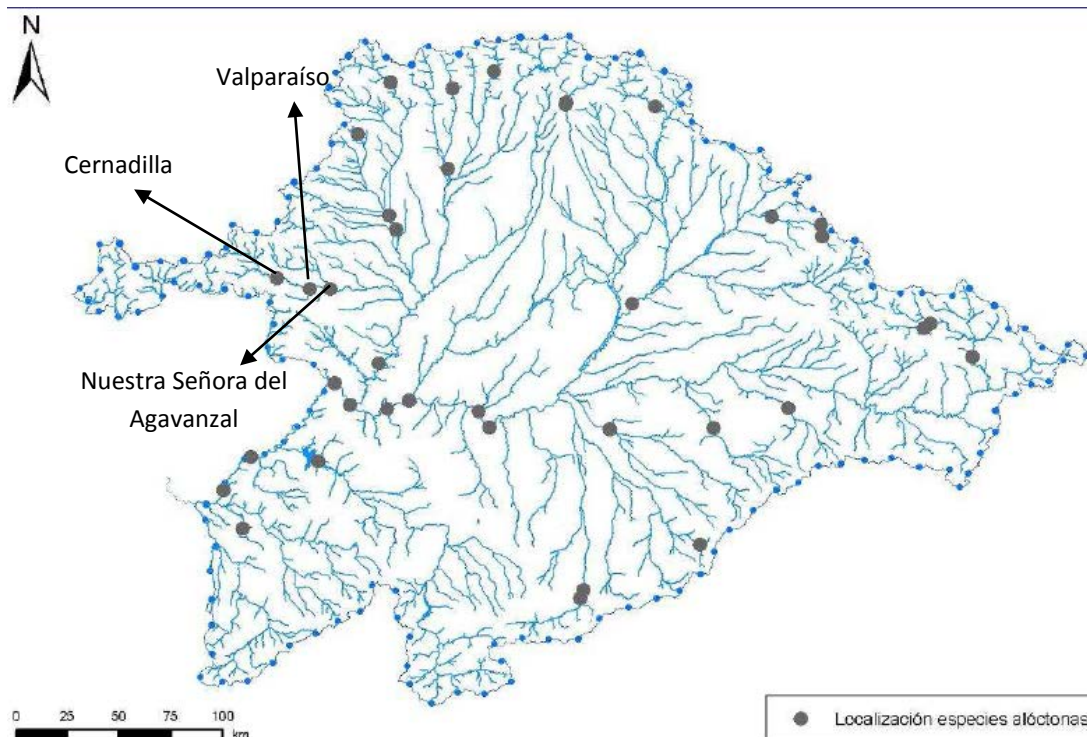


Figura 26. Mapa de distribución de los principales puntos de localización de especies alóctonas (Fuente: Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero, 2012)

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

En lo referido a los cotos de pesca, también se consideran como un impacto a tener en cuenta en zonas de cabecera y parte baja del río Tera. Otras actividades acuáticas, en cambio, tienen lugar en la zona media del río Tera, donde se localizan los embalses.

5.2.2. PRESIONES SOBRE MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA

Las masas de agua subterránea se encuentran afectadas por presiones de contaminación y la extracción del agua. En el caso de la **contaminación**, las fuentes puntuales en la cuenca del Tera son gasolineras y balsas mineras cercanas.

Las fuentes difusas de contaminación se encuentran referidas, como ocurre para aguas superficiales, a los usos del suelo: agrícolas (uso de pesticidas y fertilizantes), ganaderos. No obstante, es necesario mencionar que tales presiones no resultan representativas en el sistema fluvial del presente estudio. De esta forma, el estado de las masas de agua subterránea, en relación a la contaminación por nitratos, de la cuenca del Tera se encuentra puede considerarse bueno (véase Figura 27), según el Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero (2012).

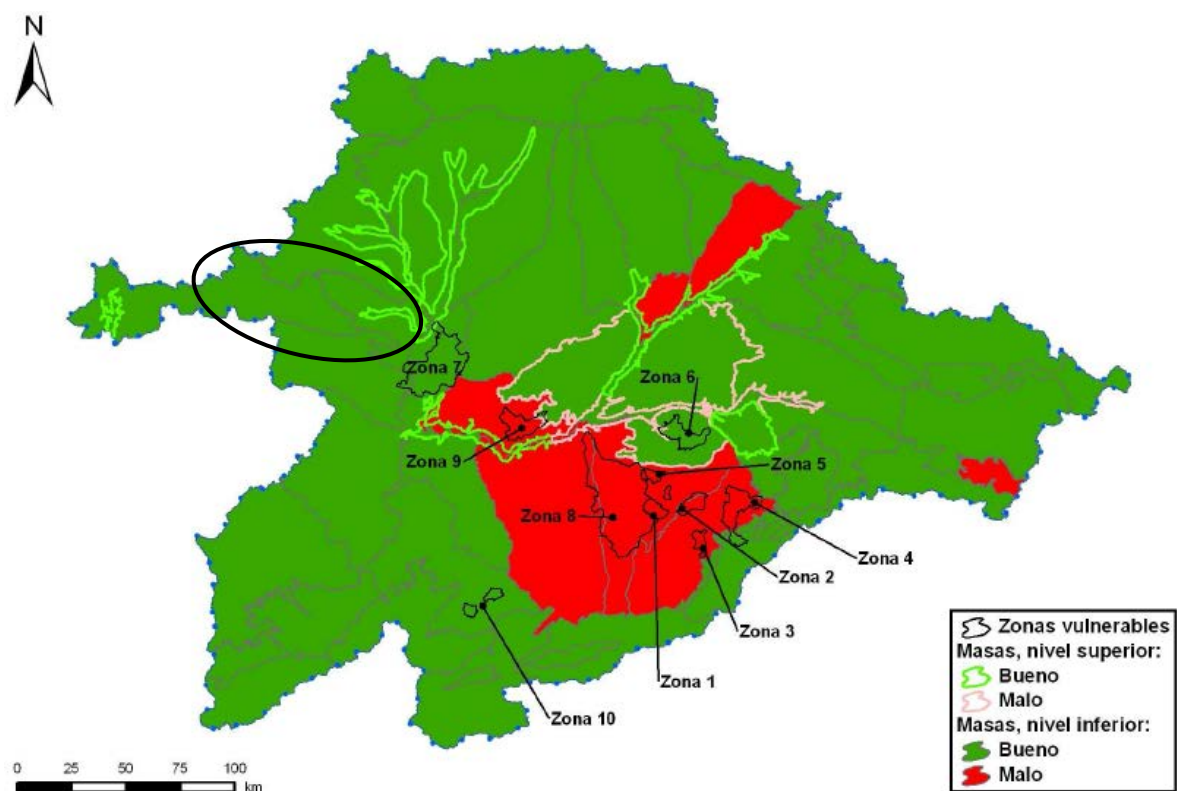


Figura 27. Mapa de estado de las masas de agua subterránea sobre las que hay declaradas zonas vulnerables a la contaminación por nitratos, año 2011 (Fuente: Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero, 2012)

Las **extracciones de agua** de las masas subterráneas de la zona de estudio, las cuales constituyen un gran recurso natural disponible, no son de graves repercusiones, tan sólo resultan mayores las destinadas a uso urbano. De esta manera se conserva un buen estado cuantitativo de las masas subterráneas de agua de la zona del Tera, según estudios de 2009 que forman parte del Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero (2012).

5.3. ESTADO ACTUAL DE LAS MASAS DE AGUA

En base a lo establecido en la Instrucción de Planificación Hidrológica, el estado de una masa de agua superficial queda determinado por el peor valor de su estado o potencial ecológico y de su estado químico.



Figura 28. Indicadores para conocer el Estado de una masa de agua.
(Fuente: Elaboración propia)

A su vez el estado o potencial ecológico de una determinada masa de agua se basa en tres pilares importantes para poder ser evaluado, tal y como se muestra en la Figura 29:



Figura 29. Indicadores para conocer el estado o potencial ecológico de una masa de agua, incluidos algunos índices trascendentales. (Fuente: Elaboración propia)

El Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero para 2009 no muestra valores de estos parámetros para cada masa de agua, sino que establece directamente en su Capítulo 7 el Estado actual de las masas de agua superficial y subterránea, sin mencionar los resultados de los índices anteriores. Es decir, se conoce directamente si una determinada masa de agua tiene un Estado ecológico y químico bueno o deficiente. En el presente proyecto se analizará este Estado con respecto a las aguas superficiales.

En el Plan mencionado se hace referencia a estos indicadores, aunque no todas las masas de agua cuentan con datos de todos los indicadores biológicos, físico-químicos e hidromorfológicos, sí cuentan con datos de uno o varios indicadores. De esta forma pueden conocerse el estado y potencial ecológico y el estado químico de las aguas del río Duero.

5.3.1. ESTADO Y POTENCIAL ECOLÓGICO

En el citado Plan se enmarcan una serie de masas de agua superficiales por categorías: **río natural**, **lago natural**, **aguas muy modificadas**, **aguas artificiales** (estas últimas no se encuentran en la zona de estudio, por lo que no serán evaluadas). En el caso de masas de agua de río natural, en dicho Plan se afirma que “de las 608 masas de agua naturales catalogadas en la categoría de río, 25 se encuentran en muy buen estado ecológico, 98 en estado bueno, 439 en moderado, 39 en deficiente y 7 en malo. Con ello, igualan o superan el buen estado 123 masas de agua, lo que supone un 20,23% del total de masas de agua de esta categoría”.

La clasificación del estado ecológico de las masas de agua superficial naturales se representa de acuerdo a los códigos de color indicados en la IPH (Instrucción de Planificación Hidrológica) y que se incluyen en la siguiente Tabla:

Clasificación del estado ecológico	Código de colores
Muy bueno	Azul
Bueno	Verde
Moderado	Amarillo
Deficiente	Naranja
Malo	Rojo

Tabla 6. Presentación de resultados del estado ecológico de las masas de agua superficial naturales. (Fuente: Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero, 2012)

Conforme a lo anterior, el estado y potencial ecológico de las masas de agua naturales es calificado como moderado en la cuenca del Tera, considerándose muy modificada la zona media del río Tera (véase Figura 30). Esto se corrobora con el Plan elaborado en 2012.

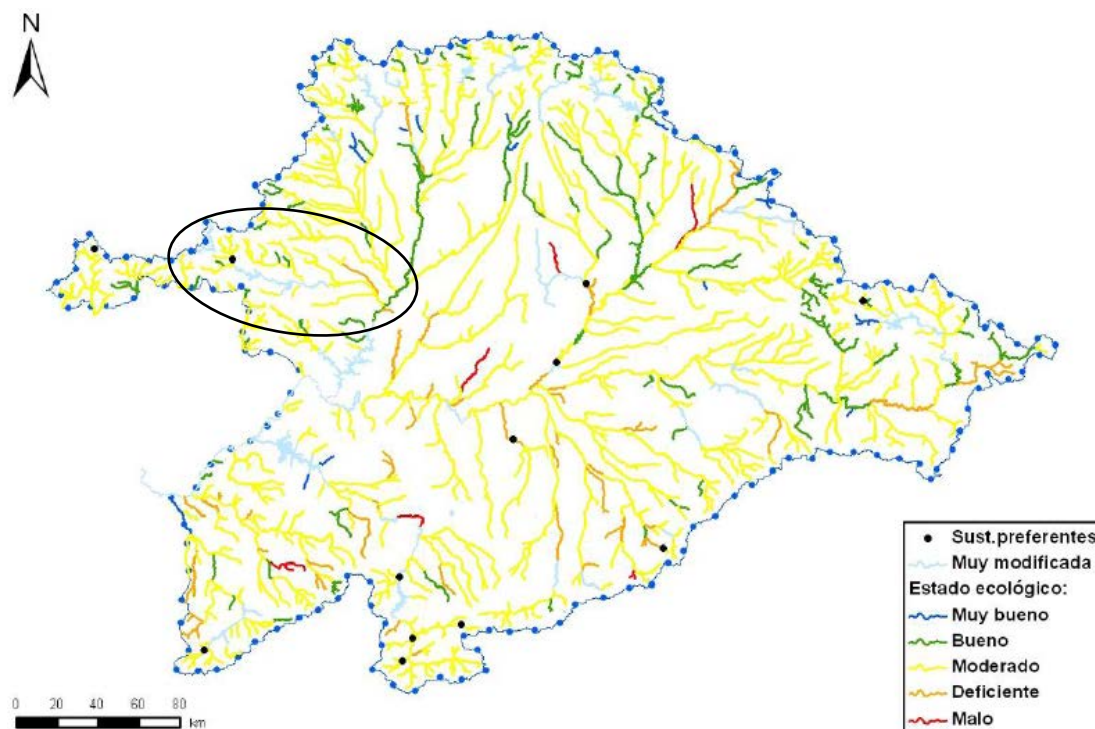


Figura 30. Mapa de estado ecológico de las masas de agua naturales de la categoría río. (Fuente: Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero, 2012)

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO Esla

En cuanto a la categoría de lagos naturales, de las 12 masas de agua consideradas, 3 se clasifican en muy buen estado, 7 en estado bueno y, por último, 2 masas de agua que no alcanzan el buen estado. Tanto el lago de Sanabria como otras masas tales como lagunas de la cabecera del río Tera se encuentran dentro del grupo de muy buen estado ecológico, como se puede apreciar en la siguiente Figura:

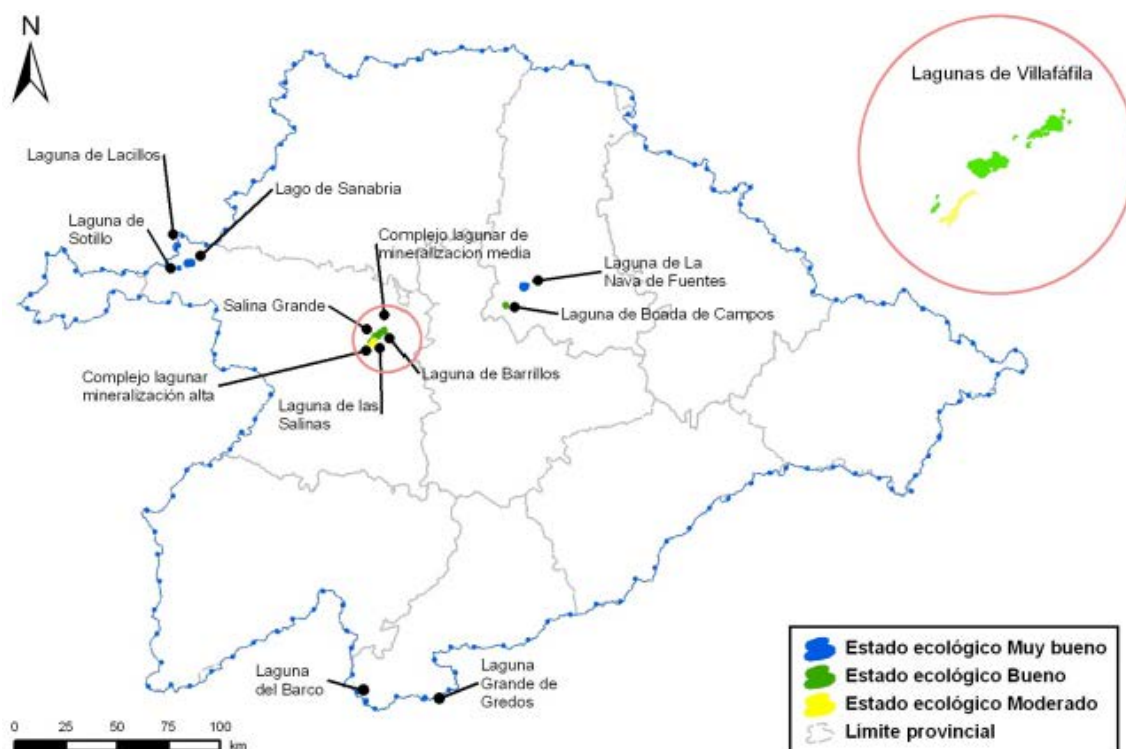


Figura 31. Mapa de estado ecológico de las masas de agua naturales de la categoría lago. (Fuente: Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero, 2012)

Resulta interesante mencionar que en el Plan Hidrológico elaborado en 2009 estos lagos se caracterizaban por un estado ecológico bueno, mientras que en el 2012 se conciben como lagos de muy buen estado ecológico. Es decir, se ha visto incrementado el estado y por lo tanto el elevado potencial ecológico que se establecía en el Plan del 2009 queda corroborado.

En la categoría de las masas de agua muy modificadas se conoce que el tramo del río Tera marcado como muy modificado tiene un potencial ecológico muy alto, el Plan de 2012 coincide una vez más.

La clasificación del potencial ecológico de las masas de agua muy modificadas se muestra en el mapa de la Figura 32.

Clasificación del potencial ecológico	Código de colores
Bueno y máximo	Franjas verdes y gris oscuro iguales
Moderado	Franjas amarillas y gris oscuro iguales
Deficiente	Franjas naranjas y gris oscuro iguales
Malo	Franjas rojas y gris oscuro iguales

Tabla 7. Presentación de resultados del potencial ecológico de las masas de agua muy modificadas. (Fuente: Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero, 2012)

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

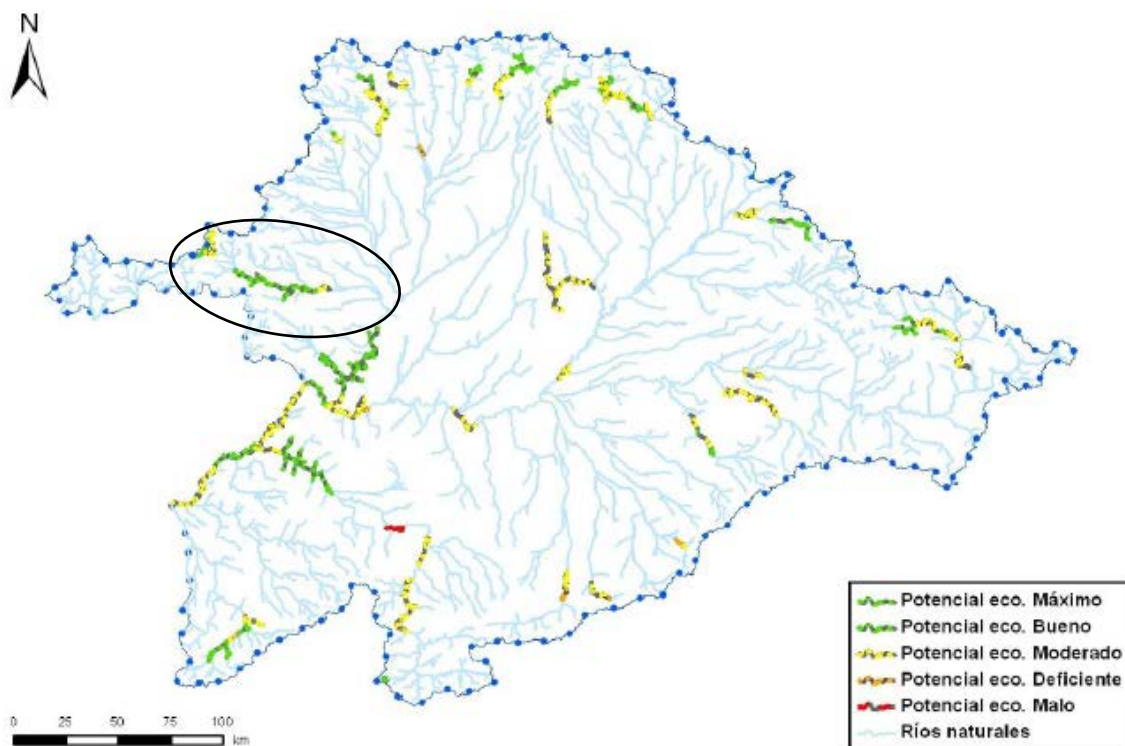


Figura 32. Mapa de potencial ecológico de las masas de agua superficial muy modificadas. (Fuente: Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero, 2012)

En la siguiente Tabla se muestra un resumen de los resultados del Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero para el año 2015 realizado en 2012:

Categoría de masa	Clase de estado/potencial ecológico año 2012						Total
	Muy bueno / Máximo	Bueno	Moderado	Deficiente	Malo	Sin dato	
Ríos naturales	13	95	444	50	6	0	608
Ríos muy modificados asimilables a río	0	1	34	2	1	0	38
Ríos muy modificados asimilables a lago (embalse)	17	10	12	3	0	0	42
Lagos naturales	6	5	1	0	0	0	12
Lagos muy modificados	2	0	0	0	0	0	2
Artificial asimilable a lago	0	1	3	1	0	0	5
Artificial asimilable a río	2	1	0	0	0	0	3
TOTAL	40	113	494	56	7	0	710


Tabla 8. Resumen del número de masas de agua superficiales en cada categoría de estado y potencial ecológico. (Fuente: Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero, 2012)

5.3.2. ESTADO QUÍMICO

La evaluación del estado químico de las masas de agua superficial en el Plan realizado en 2012 se realiza en función de una serie de normas de calidad ambiental y se expresa en dos categorías:

- Bueno:** Cumple todas las normas de calidad ambiental aplicables, establecidas por las normas comunitarias.

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

 **No alcanza el buen estado:** No cumple todas las normas de calidad ambiental aplicables, establecidas por las normas comunitarias.

La clasificación del estado químico de las masas de agua superficial se representa gráficamente tal y como se indica en la Tabla siguiente:

Clasificación del estado químico	Código de colores
Bueno	Azul
No alcanza el bueno	Rojo

Tabla 9. Presentación de resultados del estado químico de las masas de las masas de agua superficial. (Fuente: Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero, 2012)

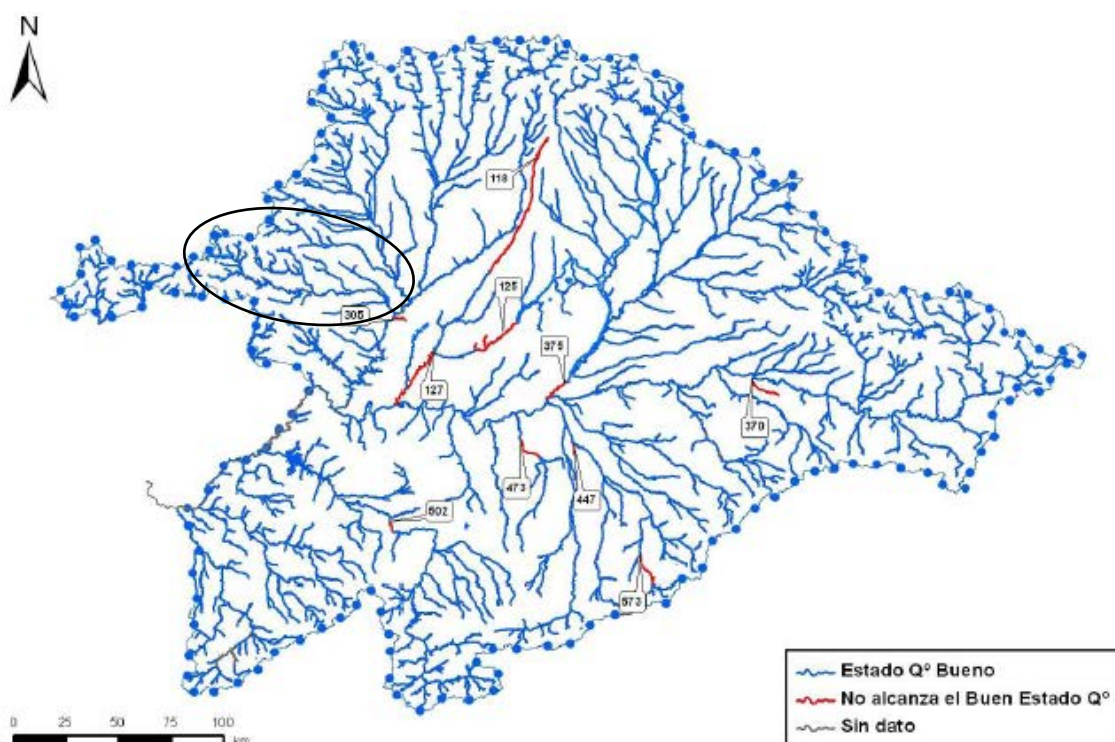


Figura 33. Estado químico de las masas de agua superficiales. (Fuente: Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero, 2012)

La cuenca del Tera se encuentra en un estado químico bueno según el Plan, como puede apreciarse en la Figura anterior.

5.3.3. ESTADO DE LOS EMBALSES DE CERNADILLA, VALPARAISO Y NUESTRA SEÑORA DEL AGAVANZAL

La calidad de la masa de agua del río Tera depende, aguas abajo del lago de Sanabria, de la abundancia de pequeñas poblaciones que disponen de tratamientos de depuración para sus aguas residuales. No obstante, el verano resulta una época especialmente sensible en cuanto a depuración de aguas se refiere, debido a la gran afluencia turística, y a que otras poblaciones no cuentan con un sistema de depuración de sus aguas residuales.

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO Esla

Los datos de calidad del agua de los distintos embalses quedan recogidos en las siguientes tablas:

CERNADILLA

PARAMETROS		2008			2009	
		23/03/2008	18/07/2008	09/11/2008	08/07/2009	06/09/2009
Físico - químicos						
pH ⁽¹⁾	ud. pH	8.8	8,6 (epi)	6.2	7,3 (epi)	6,7 (epi)
Temperatura ⁽²⁾	°C	7,2 - 8,4	9,1 - 25,1	9,4 - 11,5	7,5 - 22,1	8,0 - 23,6
Oxígeno ⁽¹⁾	mg/l	9,8 - 11,1	5,0 (hipo)	0,1 - 8,3	4,9 (hipo)	0,0 (hipo)
Conductividad	µS/cm	29	19	36	31	39
Alcalinidad fondo	mg CaCO ₃ /L	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40
Alcalinidad med	mg CaCO ₃ /L	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40
Alcalinidad sup	mg CaCO ₃ /L	<0,40	<0,04	<0,40	<0,40	<0,40
Amonio fondo	mg NH ₄ /L	<0,05	0.20	0.07	0.30	1.00
Amonio med	mg NH ₄ /L	<0,05	0.05	0.05	0.10	<0,05
Amonio sup	mg NH ₄ /L	<0,05	0.05	0.05	0.07	<0,05
Nitratos (NO ₃) fondo	mg NO ₃ /L	0.520	0.912	0.055	0.644	0.034
Nitratos (NO ₃) med	mg NO ₃ /L	0.304	<0,005	0.048	<0,005	<0,005
Nitratos (NO ₃) sup	mg NO ₃ /L	0.602	0.030	0.055	<0,005	<0,005
Nitritos (NO ₂) fondo	mg NO ₂ /L	0.027	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Nitritos (NO ₂) med	mg NO ₂ /L	0.042	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Nitritos (NO ₂) sup	mg NO ₂ /L	0.010	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Nitrógeno Total (N _T) fondo	mg N _T /L	0.8	0.7	0.6	1.1	1.0
Nitrógeno Total (N _T) med	mg N _T /L	0.9	<0,5	0.5	0.7	1.5
Nitrógeno Total (N _T) sup	mg N _T /L	0.9	0.5	<0,5	0.7	1.0
Ortofosfatos (P-PO ₄) fondo	mg P-PO ₄ /L	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0.034
Ortofosfatos (P-PO ₄) med	mg P-PO ₄ /L	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Ortofosfatos (P-PO ₄) sup	mg P-PO ₄ /L	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Fósforo Total (P Total) fondo	mg P/L	0.008	0.030	0.008	0.022	0.044
Fósforo Total (P Total) med	mg P/L	0.009	0.023	0.008	0.013	0.011
Fósforo Total (P Total) sup	mg P/L	0.008	0.028	0.006	0.010	0.008
Sulfhídrico fondo (H ₂ S)	mg H ₂ S/L	-	-	-	<0,02	0.13
Sulfhídrico medio (H ₂ S)	mg H ₂ S/L	-	-	-	-	-
DS	m	3.6	4.3	2.8	3.3	2.9
Biológicos						
Clorofila a sup	mg/m ³	-	-	-	-	-
Clorofila a 2,5DS	mg/m ³	-	-	-	-	-
Clorofila a integrada	mg/m ³	6.9	6.0	-	2.68	4.38
Fitoplancton	Biovolumen total	mm ³ /L	1.88	1.4	-	2.66
	Abundancia total	cel/mL	3,542	1,752	-	2,911
	IGA	-	-	5.8	-	2.12
	% Cianobacterias	(%)	-	0.2	-	0.00
Estado Trófico		-	Mesotrofia	-	Mesotrofia	Mesotrofia
Potencial ecológico		-	Bueno y máximo	-	Bueno y máximo	

(1) - Época de mezcla: valor medio de pH y rango de oxigenación de la columna de agua.
 - Época de estratificación: valores medios de pH epilimnético y oxígeno hipolimnético.

Tabla 10. Calidad del agua del embalse de Cernadilla (Fuente: <http://www.chduero.es/>)



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO Esla

VALPARAÍSO

PARÁMETROS		2008			2009	
		23/03/2008	19/07/2008	09/11/2008	08/07/2009	06/09/2009
Físico - químicos						
pH ⁽¹⁾	ud. pH	6.7	8,1 (epi)	6.5	7,5 (epi)	7,0 (epi)
Temperatura ⁽²⁾	°C	7,6 - 8,8	10,6 - 25,0	12,0 - 12,7	10,0 - 22,7	13,2 - 21,7
Oxígeno ⁽¹⁾	mg/l	8,7 - 10,8	3,5 (hipo)	7,5 - 9,0	5,1 (hipo)	1,5 (hipo)
Conductividad	µS/cm	21	20	29	33	34
Alcalinidad fondo	mg CaCO ₃ /L	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40
Alcalinidad med	mg CaCO ₃ /L	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40
Alcalinidad sup	mg CaCO ₃ /L	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40
Amonio fondo	mg NH ₄ /L	<0,05	0,15	0,17	0,30	0,90
Amonio med	mg NH ₄ /L	<0,05	0,07	0,05	0,10	<0,05
Amonio sup	mg NH ₄ /L	<0,05	0,05	0,07	0,05	<0,05
Nitratos (NO ₃) fondo	mg NO ₃ /L	0,066	0,983	<0,005	0,529	<0,005
Nitratos (NO ₃) med	mg NO ₃ /L	<0,005	0,014	<0,005	<0,005	0,026
Nitratos (NO ₃) sup	mg NO ₃ /L	0,019	0,019	<0,005	<0,005	0,007
Nitritos (NO ₂) fondo	mg NO ₂ /L	0,007	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Nitritos (NO ₂) med	mg NO ₂ /L	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Nitritos (NO ₂) sup	mg NO ₂ /L	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Nitrógeno Total (N _T) fondo	mg N _T /L	1,1	<0,5	0,8	1,0	1,0
Nitrógeno Total (N _T) med	mg N _T /L	0,6	<0,5	0,8	0,8	1,7
Nitrógeno Total (N _T) sup	mg N _T /L	0,6	<0,5	<0,5	0,8	0,9
Ortofosfatos (P-PO ₄) fondo	mg P-PO ₄ /L	<0,005	<0,005	0,009	<0,005	0,007
Ortofosfatos (P-PO ₄) med	mg P-PO ₄ /L	<0,005	0,005	0,008	<0,005	<0,005
Ortofosfatos (P-PO ₄) sup	mg P-PO ₄ /L	<0,005	<0,005	0,006	<0,005	<0,005
Fósforo Total (P Total) fondo	mg P/L	0,014	0,011	0,131	0,016	0,034
Fósforo Total (P Total) med	mg P/L	0,010	0,014	0,012	0,011	0,005
Fósforo Total (P Total) sup	mg P/L	0,012	0,005	0,011	0,007	0,007
Sulfhídrico fondo (H ₂ S)	mg H ₂ S/L	-	<0,02	-	-	-
Sulfhídrico medio (H ₂ S)	mg H ₂ S/L	-	-	-	-	-
DS	m	4,3	4,9	3,6	5,5	4,5
Biológicos						
Clorofila a sup	mg/m ³	-	-	-	-	-
Clorofila a 2,5DS	mg/m ³	-	-	-	-	-
Clorofila a integrada	mg/m ³	2,8	5,2	-	2,53	2,74
Fitoplancton	Biovolumen total	mm ³ /L	0,43	3,05	-	21,77
	Abundancia total	cel/mL	1,054	6,131	-	1,041
	IGA	-	-	6,1	-	134,62
	% Cianobacterias	(%)	-	0,00	-	0,00
Estado Trófico		-	Mesotrofia	-	Mesotrofia	Mesotrofia
Potencial ecológico		-	Bueno y máximo	-	Bueno y máximo	Bueno y máximo

- (1) - Época de mezcla: valor medio de pH y rango de oxigenación de la columna de agua.
 - Época de estratificación: valores medios de pH epilimnético y oxígeno hipolimnético.
 (2) - Amplitud térmica: Valor mínimo / máximo.

Tabla 11. Calidad del agua del embalse de Valparaíso
 (Fuente: <http://www.chduero.es/>)



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

NUESTRA SEÑORA DEL AGAVANZAL

PARAMETROS		2008			2009	
Físico - químicos		22/03/2008	19/07/2008	09/11/2008	08/07/2009	06/09/2009
pH ⁽¹⁾	ud. pH	7.3	7.9 (epi)	6.3	7.4 (epi)	7.2 (epi)
Temperatura ⁽²⁾	°C	8,5 - 9,6	24,9 - 10,1	11,0 - 11,7	9,0 - 23,7	10,3 - 20,3
Oxígeno ⁽¹⁾	mg/l	10,1 - 10,9	2,6 (hipo)	7,4 - 8,7	4,3 (hipo)	1,4 (hipo)
Conductividad	µS/cm	28	20	30	34	35
Alcalinidad fondo	mg CaCO ₃ /L	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40
Alcalinidad med	mg CaCO ₃ /L	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40
Alcalinidad sup	mg CaCO ₃ /L	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40
Amonio fondo	mg NH ₄ /L	0.05	0.55	0.05	0.30	0.70
Amonio med	mg NH ₄ /L	<0,05	0.55	<0,05	0.10	0.05
Amonio sup	mg NH ₄ /L	<0,05	0.07	<0,05	0.10	<0,05
Nitratos (NO ₃) fondo	mg NO ₃ /L	<0,005	0.450	0.048	0.253	0.005
Nitratos (NO ₃) med	mg NO ₃ /L	<0,005	<0,005	0.009	0.016	0.037
Nitratos (NO ₃) sup	mg NO ₃ /L	0.243	0.046	<0,005	<0,005	<0,005
Nitritos (NO ₂) fondo	mg NO ₂ /L	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Nitritos (NO ₂) med	mg NO ₂ /L	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Nitritos (NO ₂) sup	mg NO ₂ /L	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Nitrógeno Total (N _T) fondo	mg N _T /L	0.9	0.6	0.6	1.2	1.1
Nitrógeno Total (N _T) med	mg N _T /L	0.9	0.5	<0,5	0.7	1.2
Nitrógeno Total (N _T) sup	mg N _T /L	0.7	<0,5	<0,5	0.8	0.9
Ortofosfatos (P-PO ₄) fondo	mg P-PO ₄ /L	<0,005	<0,005	0.008	<0,005	<0,005
Ortofosfatos (P-PO ₄) med	mg P-PO ₄ /L	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Ortofosfatos (P-PO ₄) sup	mg P-PO ₄ /L	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Fósforo Total (P Total) fondo	mg P/L	0.009	0.022	0.008	0.013	0.026
Fósforo Total (P Total) med	mg P/L	0.010	0.012	<0,005	0.011	0.007
Fósforo Total (P Total) sup	mg P/L	0.010	0.006	<0,005	0.005	0.026
Sulfhídrico fondo (H ₂ S)	mg H ₂ S/L	-	-	-	-	<0,02
Sulfhídrico medio (H ₂ S)	mg H ₂ S/L	-	-	-	-	-
DS	m	2.9		3.2	4.5	3.6
Biológicos		Unidades				
Clorofila a sup	mg/m ³	-	-	-	-	-
Clorofila a 2,5DS	mg/m ³	-	-	-	-	-
Clorofila a integrada	mg/m ³	5.8	6.1	-	2.91	4.26
Fitoplancton	Biovolumen total	mm ³ /L	1.56	0.64	-	3.05
	Abundancia total	cel/ml	1,897	1,742	-	2,467
	IGA	-	-	0.8	-	9.22
	% Cianobacterias	(%)	-	0.00	-	0.00
Estado Trófico		-	Mesotrofia	-	Mesotrofia	Mesotrofia
Potencial ecológico		-	Bueno y máximo	-	Bueno y máximo	

- (1) - Época de mezcla: valor medio de pH y rango de oxigenación de la columna de agua.
 - Época de estratificación: valores medios de pH epilimnético y oxígeno hipolimnético.
 (2) - Amplitud térmica: Valor mínimo / máximo.

Tabla 12. Calidad del agua del embalse de Nuestra Señora del Agavanzal
 (Fuente: <http://www.chduero.es/>)

5.3.3.1. COMPARATIVA DE LOS TRES EMBALSES

Con el fin de poder analizar la calidad de las aguas de los diferentes embalses, además de su potencial ecológico (como se ha comprobado, en todos ellos bueno y máximo), se ha realizado un gráfico con los parámetros más representativos del año 2009 (en concreto, el último informe: 06/09/2009) que se presenta en la Figura 34.

Como se puede observar, los tres embalses se mantienen similares con respecto a los parámetros escogidos para su comparación. Excepto en la temperatura mínima, donde existe una pequeña diferencia, el resto de los parámetros encuentran muy aproximados sus valores entre los tres embalses. Esto lleva a considerar que el sistema discurre sin elevadas alteraciones de calidad del agua entre los tres embalses, ya que no se produce ningún cambio significativo en los parámetros seleccionados.



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

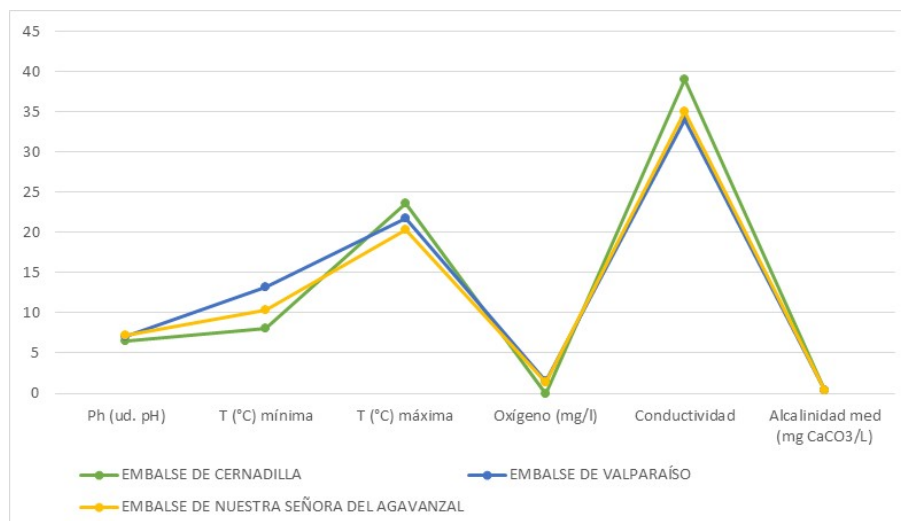


Figura 34. Gráfico comparativo de parámetros representativos del año 2009 (06/09/2009)
(Fuente: Elaboración propia)

Cabe mencionar que, para un mejor conocimiento de la calidad del agua sería necesario un estudio más desarrollado de cada uno de los parámetros y en relación con la totalidad de la zona de estudio. No obstante, no es preciso de este Estudio llevar a cabo tal análisis.

5.3.4. ESTADO DE LAS MASAS DE AGUA SUPERFICIAL

Como ya se ha mencionado con anterioridad, el estado de una masa de agua superficial queda determinado por el peor valor de su estado o potencial ecológico y de su estado químico.

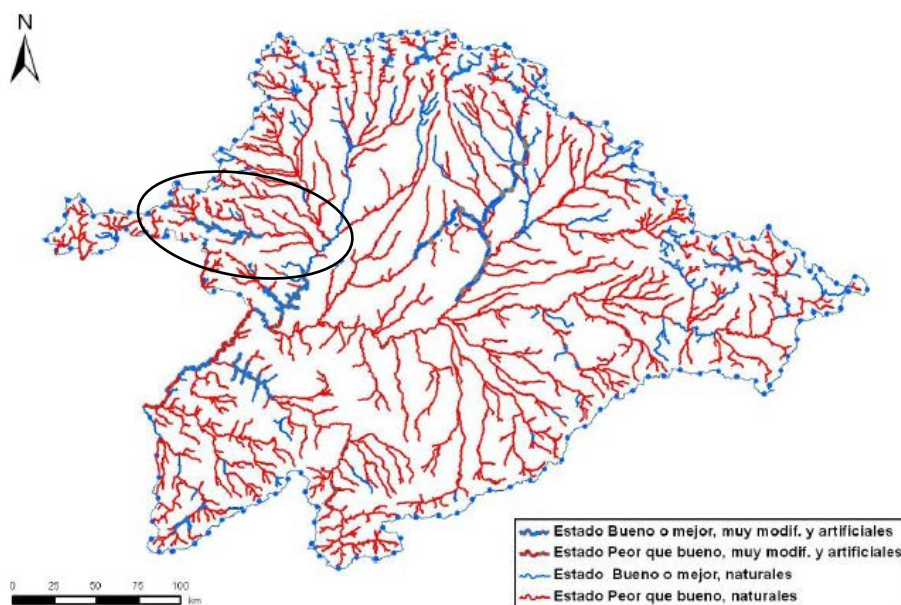


Figura 35. Estado de las masas de agua superficiales (Fuente: Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero, 2012)

Las masas de agua a evaluar son las siguientes:

- 214: Tera desde su cabecera hasta la entrada al lago de Sanabria en Ribadelago y afluentes (río Segundera desde el Embalse de La Playa hasta río Cárdena).
- 198: Tera desde salida del lago de Sanabria hasta Río Villarino.
- 200: Tera desde su confluencia con Río Villarino hasta el embalse de Cernadilla.

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

- 258: Tera desde la presa Nuestra Señora del Agavanzal hasta las afueras (aguas abajo) de la Calzada de Tera.
- 50: Tera desde aledaños de Calzada de Tera hasta confluencia con el Esla.

La masa de agua correspondiente al tramo del sistema de embalses del río Tera se concibe con un estado bueno o mejor, muy modificada y artificial. En cambio la cabecera y la parte baja (tramo 2-3, desde la presa de Agavanzal hasta la confluencia con el Esla) tienen un estado peor que bueno y son naturales. Todas las masas de agua estudiadas del río Tera se clasifican con un estado ecológico bueno según la Confederación Hidrográfica del Duero.

Los estados anteriormente expuestos son resultado de los índices biológicos, hidromorfológicos y químicos que han sido explicados previamente. A continuación se presentan las masas de agua correspondientes Al curso fluvial del Tera:

Nº MASA: 50. Río Tera desde aledaños de Calzada de Tera hasta confluencia con el Esla

1. Elementos de calidad biológicos

Elemento de calidad	Indicador	Fecha inicio	Fecha fin	Valor observado	Estado ecológico	Fiabilidad
Fauna bentónica de invertebrados						
Fauna ictiológica						
Flora acuática: Organismos fitobentónicos						

2. Elementos de calidad hidromorfológicos

Elemento de calidad	Indicador	Fecha inicio	Fecha fin	Valor observado	Estado ecológico	Fiabilidad
Condiciones morfológicas	Índice de vegetación de ribera (QBR)	01-01-2004	31-12-2004	70		
Condiciones morfológicas	Índice de hábitat fluvial (IHF)	01-01-2004	31-12-2004	68		
Continuidad del río	Índice de continuidad lateral (ICLAT)	01-01-2008	31-12-2008	8.18	Muy bueno	Confianza baja
Continuidad del río	Índice de compartimentación	01-01-2009	31-12-2009	15.6	Moderado	Confianza alta
Régimen Hidrológico	Índice de alteración hidrológica (IAH)	01-01-2011	31-01-2011	1.2	Bueno	Confianza baja

3. Elementos de calidad físico-químicos

Elemento de calidad	Indicador	Fecha inicio	Fecha fin	Valor observado	Estado ecológico	Fiabilidad
Condiciones generales:Salinidad	Conductividad eléctrica a 20°C media [μ S/cm]	01-01-2004	31-12-2004	43		
Condiciones generales:Estado de acidificación	pH	01-01-2004	31-12-2004	6.4	Muy bueno	
Condiciones generales:Condiciones de oxigenación	Oxígeno disuelto [mg/L]	01-01-2004	31-12-2004	7.43	Muy bueno	
Contaminantes específicos no sintéticos vertidos en cantidades significativas						
Contaminantes específicos sintéticos vertidos en cantidades significativas						
Condiciones generales:Condiciones térmicas						
Condiciones generales:Nutrientes						

Tabla 13. Resultados de los índices de calidad biológicos, hidromorfológicos y físico-químicos para la masa de agua 50 (Fuente: Confederación Hidrográfica del Duero, 2012)

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO Esla

Nº MASA: 198. Río Tera desde salida del lago de Sanabria hasta Río Villarino

1. Elementos de calidad biológicos

Elemento de calidad	Indicador	Fecha inicio	Fecha fin	Valor observado	Estado ecológico	Fiabilidad
Fauna bentónica de invertebrados						
Fauna ictiológica						
Flora acuática: Organismos fitobentónicos						

2. Elementos de calidad hidromorfológicos

Elemento de calidad	Indicador	Fecha inicio	Fecha fin	Valor observado	Estado ecológico	Fiabilidad
Condiciones morfológicas	Índice de vegetación de ribera (QBR)	01-01-2004	31-12-2004	100		
Continuidad del río	Índice de compartimentación	01-01-2009	31-12-2009	170.16	Moderado	Confianza alta
Condiciones morfológicas	Índice de hábitat fluvial (IHF)	01-01-2004	31-12-2004	88		
Continuidad del río	Índice de continuidad lateral (ICLAT)	01-01-2008	31-12-2008	4.02	Muy bueno	Confianza baja
Régimen Hidrológico	Índice de alteración hidrológica (IAH)	01-01-2011	31-01-2011	1.01	Muy bueno	Confianza baja

3. Elementos de calidad físico-químicos

Elemento de calidad	Indicador	Fecha inicio	Fecha fin	Valor observado	Estado ecológico	Fiabilidad
Condiciones generales:Condiciones de oxigenación	Oxígeno disuelto [mg/L]	01-01-2004	31-12-2004	7.43	Bueno	
Condiciones generales:Salinidad	Conductividad eléctrica a 20°C media [µS/cm]	01-01-2003	31-12-2003	7	Muy bueno	
Condiciones generales:Estado de acidificación	pH	01-01-2004	31-12-2004	6.03	Muy bueno	
Contaminantes específicos no sintéticos vertidos en cantidades significativas						
Contaminantes específicos sintéticos vertidos en cantidades significativas						
Condiciones generales:Condiciones térmicas						
Condiciones generales:Nutrientes						

Tabla 14. Resultados de los índices de calidad biológicos, hidromorfológicos y físico-químicos para la masa de agua 198 (Fuente: Confederación Hidrográfica del Duero, 2012)

Nº MASA: 200. Río Tera desde su confluencia con Río Villarino hasta el embalse de Cernadilla

1. Elementos de calidad biológicos

Elemento de calidad	Indicador	Fecha inicio	Fecha fin	Valor observado	Estado ecológico	Fiabilidad
Flora acuática: Organismos fitobentónicos	Índice de Poluosensibilidad específica (IPS)	01-01-2008	31-12-2008	19.7	Muy bueno	
Fauna bentónica de invertebrados	Iberian Biomonitoring Working Party (IBMWP)	01-01-2008	31-12-2008	139	Bueno	
Fauna ictiológica						

2. Elementos de calidad hidromorfológicos

Elemento de calidad	Indicador	Fecha inicio	Fecha fin	Valor observado	Estado ecológico	Fiabilidad
Condiciones morfológicas	Índice de vegetación de ribera (QBR)	01-01-2007	31-12-2007	100		
Continuidad del río	Índice de compartimentación	01-01-2009	31-12-2009	92.13	Moderado	Confianza alta
Continuidad del río	Índice de continuidad lateral (ICLAT)	01-01-2008	31-12-2008	10.51	Bueno	Confianza baja
Condiciones morfológicas	Índice de hábitat fluvial (IHF)	01-01-2007	31-12-2007	76		
Régimen Hidrológico	Índice de alteración hidrológica (IAH)	01-01-2011	31-01-2011	1.02	Muy bueno	Confianza baja

3. Elementos de calidad físico-químicos

Elemento de calidad	Indicador	Fecha inicio	Fecha fin	Valor observado	Estado ecológico	Fiabilidad
Condiciones generales:Condiciones de oxigenación	Oxígeno disuelto [mg/L]	01-01-2009	31-12-2009	8.7	Muy bueno	
Condiciones generales:Nutrientes	Amonio total [mg/L]	01-01-2009	31-12-2009	0.1	Muy bueno	
Condiciones generales:Condiciones de oxigenación	DBO5 [mg/L]	01-01-2009	31-12-2009	1.11	Muy bueno	
Condiciones generales:Nutrientes	Nitratos [mg/L]	01-01-2008	31-12-2008	0.41	Muy bueno	
Condiciones generales:Nutrientes	Fósforo total [mg/L]	01-01-2009	31-12-2009	0.02	Muy bueno	
Condiciones generales:Salinidad	Conductividad eléctrica a 20°C media [µS/cm]	01-01-2009	31-12-2009	20.25	Muy bueno	
Condiciones generales:Estado de acidificación	pH	01-01-2009	31-12-2009	7.33	Bueno	
Contaminantes específicos no sintéticos vertidos en cantidades significativas						
Contaminantes específicos sintéticos vertidos en cantidades significativas						
Condiciones generales:Condiciones térmicas						

Tabla 15. Resultados de los índices de calidad biológicos, hidromorfológicos y físico-químicos para la masa de agua 200 (Fuente: Confederación Hidrográfica del Duero, 2012)



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO Esla

Nº MASA: 214. Río Tera desde su cabecera hasta la entrada al lago de Sanabria en Ribadelago y afluentes (río Segundera desde el Embalse de La Playa hasta río Cárdena)

1. Elementos de calidad biológicos

Elemento de calidad	Indicador	Fecha inicio	Fecha fin	Valor observado	Potencial ecológico	Fiabilidad
Fauna bentónica de invertebrados						
Fauna ictiológica						
Flora acuática: Organismos fitobentónicos						

2. Elementos de calidad hidromorfológicos

Elemento de calidad	Indicador	Fecha inicio	Fecha fin	Valor observado	Potencial ecológico	Fiabilidad
Continuidad del río	Índice de continuidad lateral (ICLAT)	01-01-2008	31-12-2008	5.17	Máximo	Confianza baja
Continuidad del río	Índice de compartimentación	01-01-2009	31-12-2009	26.07	Moderado	Confianza alta
Régimen Hidrológico						
Condiciones morfológicas						

3. Elementos de calidad físico-químicos

Elemento de calidad	Indicador	Fecha inicio	Fecha fin	Valor observado	Potencial ecológico	Fiabilidad
Condiciones generales:Condiciones de oxigenación	Oxígeno disuelto [mg/L]	01-01-2004	31-12-2004	12.32	Máximo	
Condiciones generales:Salinidad	Conductividad eléctrica a 20°C media [µS/cm]	01-01-2004	31-12-2004	15	Máximo	
Condiciones generales:Estado de acidificación	pH	01-01-2004	31-12-2004	7.1	Máximo	
Contaminantes específicos no sintéticos vertidos en cantidades significativas						
Contaminantes específicos sintéticos vertidos en cantidades significativas						
Condiciones generales:Condiciones térmicas						
Condiciones generales:Nutrientes						

Tabla 16. Resultados de los índices de calidad biológicos, hidromorfológicos y físico-químicos para la masa de agua 214 (Fuente: Confederación Hidrográfica del Duero, 2012)

Nº MASA: 258. Río Tera desde la presa Nuestra Señora del Agavanzal hasta las afueras (aguas abajo) de la Calzada de Tera

1. Elementos de calidad biológicos

Elemento de calidad	Indicador	Fecha inicio	Fecha fin	Valor observado	Potencial ecológico	Fiabilidad
Flora acuática: Organismos fitobentónicos	Índice de Poluosensibilidad específica (IPS)	01-01-2008	31-12-2008	19.2	Bueno	
Fauna bentónica de invertebrados	Iberian Biomonitoring Working Party (IBMWP)	01-01-2008	31-12-2008	132	Bueno	
Fauna ictiológica						

2. Elementos de calidad hidromorfológicos

Elemento de calidad	Indicador	Fecha inicio	Fecha fin	Valor observado	Potencial ecológico	Fiabilidad
Continuidad del río	Índice de compartimentación	01-01-2009	31-12-2009	41.93	Moderado	Confianza alta
Continuidad del río	Índice de continuidad lateral (ICLAT)	01-01-2008	31-12-2008	0	Máximo	Confianza baja
Régimen Hidrológico						
Condiciones morfológicas						

3. Elementos de calidad físico-químicos

Elemento de calidad	Indicador	Fecha inicio	Fecha fin	Valor observado	Potencial ecológico	Fiabilidad
Condiciones generales:Condiciones de oxigenación	Oxígeno disuelto [mg/L]	01-01-2009	31-12-2009	8.69	Máximo	
Condiciones generales:Nutrientes	Amonio total [mg/L]	01-01-2009	31-12-2009	0.14	Máximo	
Condiciones generales:Nutrientes	Fósforo total [mg/L]	01-01-2009	31-12-2009	0.02	Máximo	
Condiciones generales:Condiciones de oxigenación	DBO5 [mg/L]	01-01-2009	31-12-2009	1.08	Máximo	
Condiciones generales:Nutrientes	Nitratos [mg/L]	01-01-2008	31-12-2008	0.09	Máximo	
Condiciones generales:Salinidad	Conductividad eléctrica a 20°C media [µS/cm]	01-01-2009	31-12-2009	47.44	Máximo	
Condiciones generales:Estado de acidificación	pH	01-01-2009	31-12-2009	7.23	Bueno	
Contaminantes específicos no sintéticos vertidos en cantidades significativas						
Contaminantes específicos sintéticos vertidos en cantidades significativas						
Condiciones generales:Condiciones térmicas						

Tabla 17. Resultados de los índices de calidad biológicos, hidromorfológicos y físico-químicos para la masa de agua 258 (Fuente: Confederación Hidrográfica del Duero, 2012)



5.4. ZONAS PROTEGIDAS

Los valores de interés de la zona de estudio se pueden clasificar como: valores biológicos e hidromorfológicos. Resulta imprescindible conocer si algún territorio de interés para ser protegido se encuentra en dicha zona.

5.4.1. VALORES BIOLÓGICOS

La zona alta del río Tera se compone de una serie de lagos y lagunas de origen glaciar rodeadas de turberas activas y roquedos silíceos, entre ellos el lago de Sanabria, de especial importancia por tratarse del mayor lago de origen glaciar de la Península Ibérica.

En cuanto a la vegetación del tramo medio alto del Tera y de sus afluentes, esta constituye diversos hábitats de interés comunitario recogidos en la Directiva Hábitat 92/43/CEE (*Alnus glutinosa*, *Salix atrocinerea*, *S. fragilis*, *S. salviifolia*, *S. viminalis*, *Corylus avellana*, *Betula alba*, *Rubus sp.*, *Cytisus multiflora*, *Cytisus scoparius*, *Erica australis*, *E. arbórea*, *E. umbellata*). El tramo medio del río Tera se caracteriza por zonas bien conservadas (por ejemplo, en áreas cerca de la localidad El Puente) de alisedas y carballos de buen porte.

En relación a la fauna que puebla las cercanías al río o dependientes de él, destacan especies tales como el mirlo acuático (*Cinclus cinclus*), el sapillo pintojo (*Discoglossus galganoi*), el desmán de los pirineos (*Galemys pyrenaicus*) y la nutria (*Lutra lutra*). Dichas especies se encuentran catalogadas de interés especial en base al Real Decreto 439/90 del Catálogo Nacional de Especies Amenazadas. Las comunidades piscícolas, concretamente la ictiofauna (*Salmo trutta*), se localizan trucha común, anguila y bermejuela (*Achondrostoma arcasii*).

5.4.2. VALORES HIDROMORFOLÓGICOS

Las características de la zona suponen unos valores hidromorfológicos únicos.

El lago de Sanabria constituye el lago de origen glaciar más grande de la Península Ibérica, como anteriormente se ha mencionado, con 368,5 ha de extensión y 51 m de profundidad máxima. Este lago tuvo su origen en una morrena glaciar en el borde oriental del lago.

La parte alta del río Tera, situada aguas arriba del lago de Sanabria, presenta peculiaridades fluviales de alta montaña, recorriendo un valle glaciar orientado norte-sur. Se conservan lagunas de sobreexcavación glaciar en sus márgenes y circos glaciares en límites septentrionales de su cuenca. El valle glaciar típico de la zona se extiende formando unas planicies en las cuales se ubican lagunas y turberas.

El río Segundera, afluente del Tera en la cabecera, presenta lagunas de sobreexcavación glaciar en su valle. Ambos valles glaciares, el correspondiente al Tera y al Segundera, se desarrollan en litología granítica, “en el que la morfología original de canchales está modificada por la acción glaciar, habiendo dado lugar a morfologías “aborregadas”” (Anexo 3 del Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero, 2012). El conjunto de estos valles es lo que lleva a originar la morrena oriental anteriormente mencionada que da lugar al lago de Sanabria.

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA



Figura 36. Imágenes del lago de Sanabria (años 2014 y 2012, respectivamente)
(Fuente: Elaboración propia)

5.4.3. ZONAS PROTEGIDAS POR LA RED NATURA 2000

La cuenca del río Tera recoge varias zonas protegidas por la Red Natura 2000, tanto LIC como ZEPA. Dichas zonas quedan recogidas en la siguiente Tabla:

Zona LIC y/o ZEPA	Provincia	Superficie (ha)	Código
LIC y ZEPA Pena Trevinca	Ourense	22.316,25	LIC: ES1130007 ZEPA: ES0000437
LIC y ZEPA Sierra de la Cabrera	Zamora	15.763,25	LIC: ES4190110 ZEPA: ES4130024
LIC y ZEPA Lago de Sanabria y alrededores	Zamora	29.293,71	LIC: ES4190105 ZEPA: ES4190009
LIC Lagunas de Tera y Vidriales	Zamora	1.205,46	ES4190134
LIC Riberas del Río Tera y afluentes	Zamora	202,55	ES4190067
LIC Sierra de la Culebra	Zamora	61.305,96	ES4190033

Tabla 18. Zonas protegidas por la Red Natura dentro de la cuenca hidrográfica del Tera.
(Elaboración propia)

Las fichas a partir de las cuales se obtiene la información que posteriormente se expone se encuentra en el Anexo II de ZONAS PROTEGIDAS (Anexo electrónico).

Las montañas de Pena Trevinca se localizan al este de Ourense y se caracterizan por una flora variada y única destacando el Teixadal de Casaio que constituye un bosque de numerosos tejos centenarios. En cuanto a la fauna se distingue por la presencia de aves en protección como el águila real, el buitre leonado, el buitre negro, la perdiz pardilla y el halcón peregrino, entre otros.

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

La Sierra de la Cabrera se encuentra entre Zamora y León, se caracteriza por la presencia de brezales húmedos atlánticos, turberas altas activas, bosques aluviales de *Alnus glutinosa* y *Fraxinus excelsior* considerados Hábitats prioritarios del Anexo I de la Directiva 92/43/CEE. En cuanto a la fauna, es necesario destacar las aves pertenecientes al Anexo I de la Directiva 79/409/CEE: perdiz pardilla, aguilucho cenizo, buitre leonado, águila real... La población relativa de estas especies se encuentra entre 0-2%, y el valor global es clasificado como Bueno. En general, este espacio se considera con un gran valor del espacio desde el punto de vista botánico con buenas representaciones de bosque caducifolio húmedo y gran número de especies de aves y mamíferos. Su principal vulnerabilidad son las explotaciones mineras a cielo abierto, las cuales se encuentran en aumento, así como los parques eólicos y las pistas de esquí.

El Lago de Sanabria y las zonas cercanas se caracterizan por los mismos Hábitats prioritarios comentados en el LIC de la Sierra de la Cabrera. Lo mismo ocurre con la fauna presente, conteniendo especies migratorias y nidificantes que se encuentran en peligro de extinción. Los principales valores del Espacio giran en torno a los ambientes acuáticos lacustres de origen glaciar y la riqueza de su componente florística y su herpetofauna asociada. En cuanto a la flora, destaca la presencia de *Eryngium viviparum*, de interés prioritario y clasificada como "En Peligro" en la Lista Roja de Flora Vascular Española. La mayor vulnerabilidad de este espacio es el turismo, ejerciendo una fuerte presión que pone en peligro los valores de este Espacio Natural, además de ciertas problemáticas con los residuos vertidos al lago, los cuales deben recibir un adecuado tratamiento de depuración.

Las Lagunas del Tera y Vidriales componen dos áreas de relativa extensión a ambos lados del Valle del Tera y se distinguen por la presencia de estanques temporales mediterráneos, que constituye el Hábitat más representativo de la zona, además la zona se compone de encinares bien conservados. En cuanto a la flora destaca la presencia, de nuevo, de *Eryngium viviparum*, de interés prioritario y clasificada como "En Peligro" en la Lista Roja de Flora Vascular Española. La principal vulnerabilidad de la zona serían los continuos cambios en los cultivos agrícolas.

Las riberas del río Tera y afluentes constan de Bosques aluviales de *Alnus glutinosa* y *Fraxinus excelsior* de gran interés. Este LIC incluye varios tramos fluviales que cuentan con buenas poblaciones de distintas especies de peces continentales, además de la presencia de la nutria y el desmán ibérico. La vulnerabilidad en este Lugar procede de las extracciones de áridos, la intensificación de los usos agrícolas, entre otras causas.

La Sierra de la Culebra empieza en el inicio del embalse de Cernadilla y se extiende hasta casi la finalidad del río Tera. En su superficie se ubican especies mediterráneas como el alcornoque (*Quercus suber*) y se considera un gran diversidad y riqueza faunística. La Sierra de la Culebra ha sido conocida por su población de lobo ibérico que supone una de las más importantes del país, regulando las poblaciones de ciervos, corzos y jabalíes y en donde la caza del lobo está regulada sin polémicas relevantes. La principal vulnerabilidad de la zona, al igual que las anteriores, se debe a la presencia humana con la proliferación de infraestructuras viarias, las explotaciones mineras a cielo abierto, el turismo, etc.



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

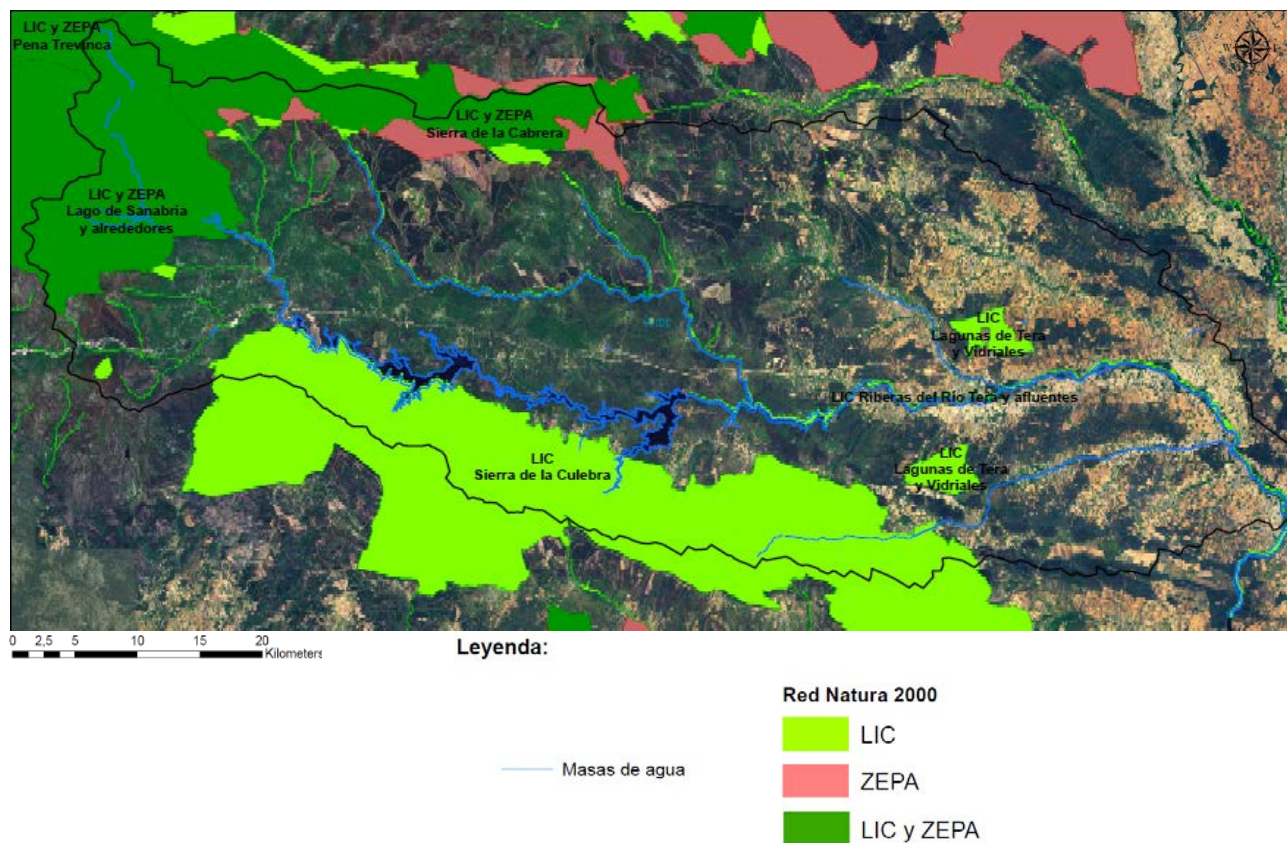


Figura 37. Mapa de zonas protegidas por la Red Natura 2000 en la cuenca del río Tera.
(Fuente: Elaboración propia)

5.5. OBJETIVOS AMBIENTALES

El Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero (2012) especifica en el Anexo 8 una serie de objetivos ambientales a cumplir para los años 2015, 2021 y 2027, algunos de estos aspectos son:

- 🌿 La concentración de fósforo en masas de agua superficiales para 2015 (Figura 38).
- 🌿 La concentración de materia orgánica en masas de agua superficiales para 2015 (Figura 39).
- 🌿 Concentración de nitrato en las masas de agua subterráneas para 2015, 2021 y 2027, con tres tipos de escenarios a analizar:
 - a) *Escenario base* (situación actual): Mantenimiento de las prácticas agrícolas actuales. Su principal objetivo es analizar las tendencias futuras de la concentración media de nitrato en dichas masas de agua con las prácticas agrícolas que se llevan a cabo en la actualidad.
 - b) *Escenario Programa de Actuación*: Aplicación de dosis óptimas de fertilización en las zonas afectadas. El objetivo se basa en evaluar el programa de actuación de zonas vulnerables, aunque finalmente se han aplicado estas dosis a todos los municipios.
 - c) *Escenario de eliminación de la presión* (escenario considerado “ideal”). En este caso el objetivo es determinar el tiempo de recuperación de las masas de agua subterráneas partiendo de la situación actual.

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO Esla

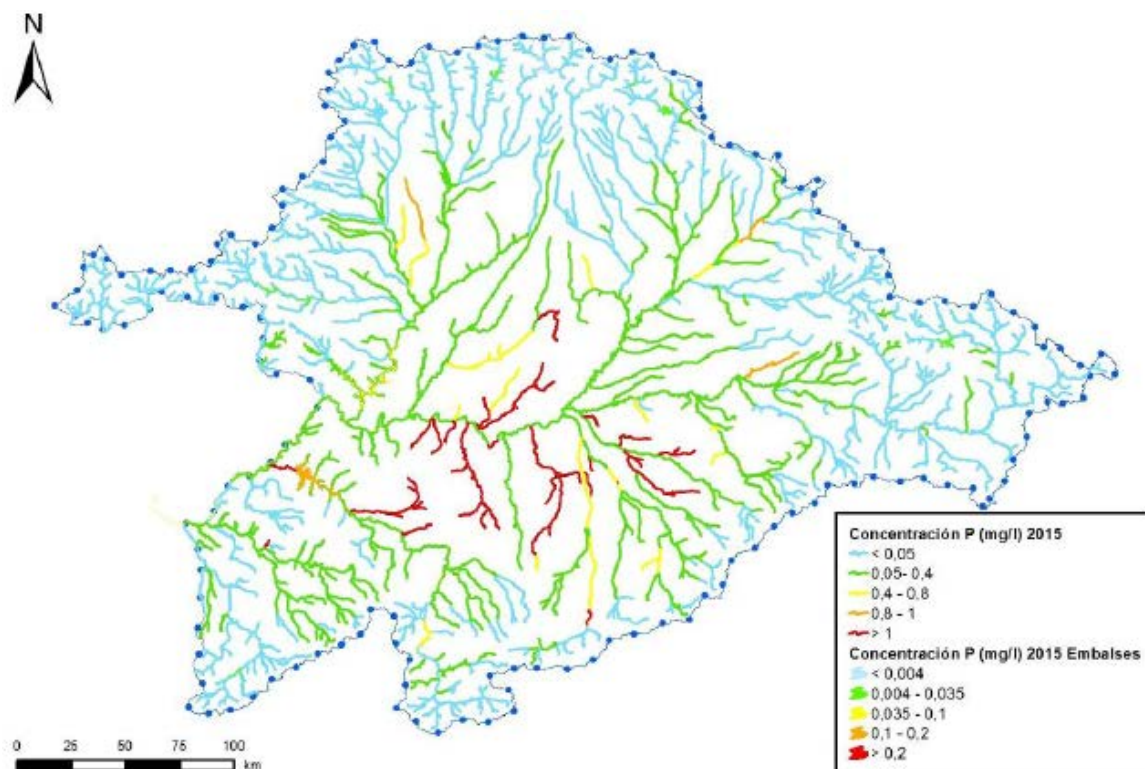


Figura 38. Concentración de fósforo (mg/l) en las masas de agua superficiales (no incluye lagos ni masas artificiales) en el escenario 2015. (Fuente: Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero, 2012)

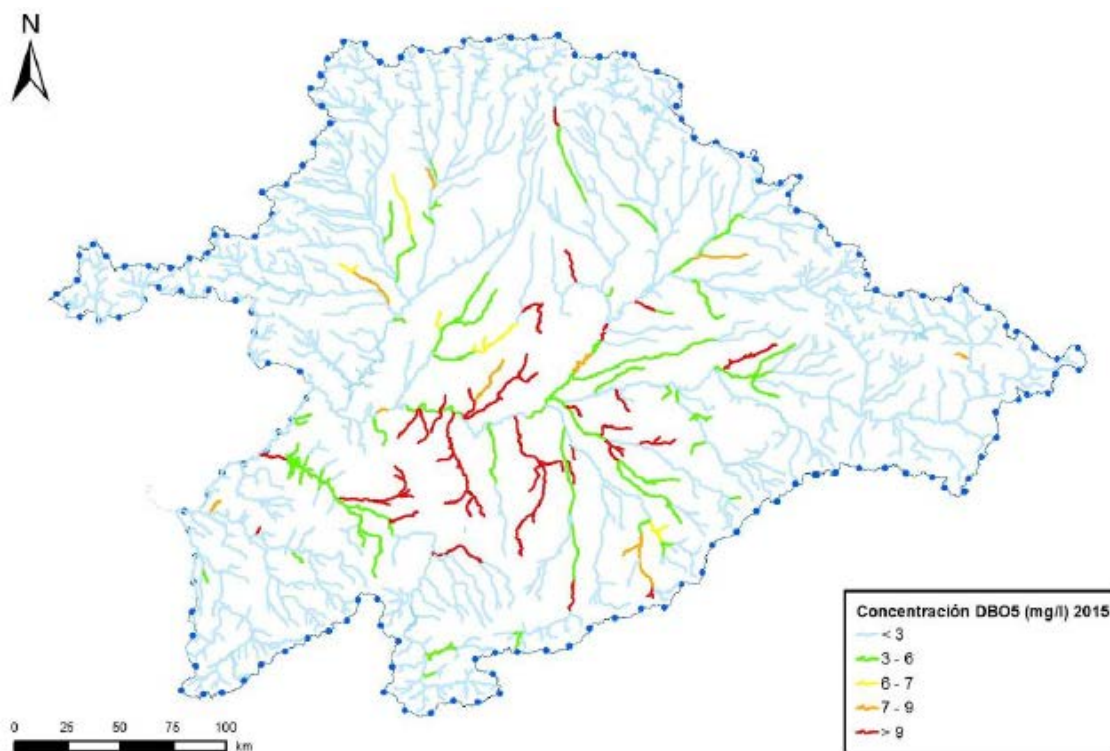


Figura 39. Concentración de materia orgánica (mg/l) en las masas de agua superficiales (no incluye lagos ni masas artificiales) en el escenario 2015. (Fuente: Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero, 2012)

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

Los objetivos ambientales generales para las masas de agua son el buen estado o buen potencial de estas. En el caso de que sea imposible llevar a cabo tales objetivos, se pueden plantear prórrogas y objetivos menos rigurosos, que han sido establecidos por la Confederación Hidrográfica del Duero en su Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero (2012).

Para las zonas protegidas se establecen otra serie de objetivos a alcanzar particulares de una determinada zona. En la Tabla 19 se presentan los objetivos ambientales propuestos para cada tipo de zona protegida:

Tipo de zona protegida	Norma regulatoria	Objetivos de la norma
Captación de agua para abastecimiento	Directiva Marco del Agua. Respecto a las normas de calidad, se siguen aplicando las normas Directivas 75/440/CEE y 79/869/CEE hasta que se desarrollen nuevos criterios	Definen unas normas de calidad específicas para las aguas prepotables superficiales. Para las aguas subterráneas no se ha desarrollado legislación al respecto.
Protección de la vida de los peces	Directiva 2006/44/CE, relativa a la calidad de las aguas continentales que requieren protección o mejora para ser aptas para la vida de los peces	Define unas normas de calidad específicas para las aguas que requieren protección o mejora para la vida de los peces
Zonas de baño	Directiva 2006/7/CE, relativa a la gestión de las aguas de baño	Define unas normas de calidad específicas para las aguas de baño
Zonas vulnerables	Directiva 91/676/CEE, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura	Define que se han de designar las zonas vulnerables y aplicar en ellas Programas de actuación contra la contaminación por nitratos. Con ello, persigue no sobrepasar la concentración de 50 mg/l de nitratos en las aguas
Zonas sensibles	Directiva 91/271/CEE, sobre tratamiento de las aguas residuales urbanas	Define que se ha de realizar una adecuada depuración de las aguas residuales urbanas. Con ello, persigue que las aguas no estén eutrofizadas
Lugar de Importancia Comunitaria	Directiva 92/43/CEE, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de fauna y flora silvestres	Define que se han de proteger y mantener en buen estado una serie de hábitats
Zonas de Especial Protección de Aves	Directiva 2009/147/CE, relativa a la conservación de aves silvestres	Define que se han de proteger una serie de especies de aves, así como mantener en buen estado los hábitats de los que dependen dichas aves protegidas
Perímetros de protección de aguas minerales y termales	Ley 22/1973, de Minas. Aguas minerales: Directiva 2009/54/CE sobre explotación y comercialización de aguas minerales naturales	Los objetivos ambientales de las aguas declaradas como mineral o termal, se basan principalmente en el mantenimiento de su composición y características esenciales y su no deterioro.
Reserva natural fluvial	Ley del PHN (artículo 25). Reglamento de Planificación Hidrológica (Art. 22)	Define que han de ser masas de agua con escasa o nula intervención humana y en estado ecológico muy bueno
Zonas de protección especial	Reglamento de Planificación Hidrológica (Art. 23)	El ámbito se protege por su interés ecológico o por sus características naturales, que son el objeto de la protección
Zona húmeda	Convención Ramsar (02/02/1971). Ley 42/2007, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad Decreto 125/2001, de 19 de abril, por el que se modifica el Decreto 194/1994, de 25 de agosto, y se aprueba la ampliación del Catálogo de Zonas Húmedas de Interés Especial. Decreto 127/2008, de 5 de junio, por el que se desarrolla el régimen de los humedales protegidos y se crea el inventario de humedales de Galicia	Definen que se han de conservar en buen estado

Tabla 19. Objetivos ambientales de las zonas protegidas (Fuente: Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero, 2012)



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

5.6. ASIGNACIÓN Y RESERVA DE RECURSOS

El Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero (2012) estableciendo balances para el año 2015 de las demandas, plantea los recursos disponibles para tales demandas y las previsibles. De manera que la asignación de recursos queda recogida en la siguiente Tabla, donde se puede observar que la mayor parte de estos se destina al regadío:

Tipología	Nombre de la demanda	Código	Unidades	Asignado PH 1998	Demand a anual	Servido 2015	Servido 2021	Servido 2027	Asignado nuevo PH	
				hm ³ /año	hm ³ /año	hm ³ /año	hm ³ /año	hm ³ /año	hm ³ /año	hm ³ /mes
Regadío	ZR MD Río Tera	2000025	7452	50	52,258	52,258	52,626	52,626	52,258	13,489
	RP MI Río Tera	2000026	2158	20 ²	14,959	14,959	15,064	14,424	14,959	3,627
	RP Cabecera Río Tera	2000032	1430	--	5,447	5,447	5,447	5,447	5,447	2,208
	ZR MI Río Tera	2000049	--	50 ³	0	0	0	49,168	0,000	0,000
	RP Arroyo del Regato	2000299	454	--	2,984	2,923	2,939	1,335	2,984	0,771
	RP Ayoó de Vidriales	2000336	261	--	1,826	1,752	1,762	1,391	1,826	0,491
	Bombeo Valle del Tera (Tera)	2000061	175	5	0,911	0,911	0,914	0,382	0,911	0,241
	Bombeo Sanabria (Tera)	2000284	84		0,275	0,275	0,286	0,295	0,275	0,108
	Bombeo La Maragatería (Tera)	2000521	54		0,219	0,219	0,220	0,057	0,219	0,078
Acuicultura	Lago de Sanabria	3800028	--	--	11,034	11,034	11,034	11,034	11,034	0,937
Abastecimiento	Puebla de Sanabria	3000014	2288	--	0,258	0,258	0,243	0,228	0,258	0,034
	Tera	3000016	1780	--	0,247	0,247	0,217	0,185	0,247	0,042
	Bombeo Valle del Tera (Tera)	3000023	3243	--	0,383	0,383	0,333	0,280	0,383	0,055
	Benavente y Valle del Tera	3000155	34072	--	3,749	3,749	3,744	3,696	3,749	0,423
	Bombeo Sanabria-Tera	3000187	4088	--	0,565	0,565	0,510	0,444	0,565	0,096
	Bombeo La Maragatería - Tera	3000219	919	--	0,108	0,108	0,091	0,076	0,108	0,015

Tabla 20. Asignación de recursos del Sistema de Explotación Tera (Fuente: Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero, 2012)

Es necesaria una evaluación mensual del suministro de las demandas con indicación del volumen demandado y suministrado, y el déficit y la garantía volumétrica resultantes.

Se lleva acabadicha evaluación para las demandas agrarias de origen superficial, ya que son las más problemáticas con respecto a estos términos, y se conoce que las lagunas en las dos demandas con déficit se focalizan en julio y agosto, tal y como semuestra en la Tabla 21:



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

Demanda	valor	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
DA 2000025 ZR MD Tera	Demanda mensual	0	0	0	3,89	5,97	11,07	13,49	11,70	6,15	0	0	0
	Suministro superficial	0	0	0	3,89	5,97	11,07	13,49	11,70	6,15	0	0	0
	Déficit de suministro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Garantía volumétrica (%)				100	100	100	100	100	100			
DA 2000026 RP MI Tera	Demanda mensual	0	0,15	0,84	1,05	1,58	2,94	3,63	3,15	1,62	0,00	0	0
	Suministro superficial	0	0,15	0,84	1,05	1,58	2,94	3,63	3,15	1,62	0,00	0	0
	Déficit de suministro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Garantía volumétrica (%)		100	100	100	100	100	100	100	100			
DA 2000032 RP Cabecera Río Tera	Demanda mensual	0	0	0	0	0	1,49	2,21	1,75	0	0	0	0
	Suministro superficial	0	0	0	0	0	1,49	2,21	1,75	0	0	0	0
	Déficit de suministro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Garantía volumétrica (%)					100	100	100	100				
DA 2000049 ZR MI Tera	Demanda mensual	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Suministro superficial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Déficit de suministro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Garantía volumétrica (%)												
DA 2000299 RP Arroyo del Regato	Demanda mensual	0	0	0,12	0,20	0,30	0,62	0,77	0,66	0,31	0	0	0
	Suministro superficial	0	0	0,12	0,20	0,30	0,62	0,74	0,64	0,31	0	0	0
	Déficit de suministro	0	0	0	0	0	0	0,03	0,03	0	0	0	0
	Garantía volumétrica (%)			100	100	100	100	95,52	95,96	100			
DA 2000336 RP Ayoó de Vidriales	Demanda mensual	0	0	0,06	0,10	0,17	0,39	0,49	0,42	0,19	0	0	0
	Suministro superficial	0	0	0,06	0,10	0,17	0,39	0,48	0,36	0,18	0	0	0
	Déficit de suministro	0	0	0	0	0	0	0,01	0,06	0,00	0	0	0
	Garantía volumétrica (%)			100	100	100	100	98,01	85,42	98,36			

Tabla 21. Unidad de Demanda Agraria superficial del Sistema Tera. (Fuente: Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero, 2012)

En cuanto a la reserva de los recursos, es preciso identificar la correspondencia actual entre las asignaciones descritas anteriormente y las concesiones que han sido concedidas, de esta forma se conocen las asignaciones no concedidas y, por tanto, las destinadas a ser reservas. En la Tabla 22 se recogen dichas reservas:

Tipología	Nombre de la demanda	Código	Derecho concedido	Asignado nuevo PH		Reservado
			(hm ³ /año)	(hm ³ /año)	(hm ³ /mes)	(hm ³ /año)
Regadío	ZR MD Río Tera	2000025	2,106	52,258	13,489	50,152
	RP MI Río Tera	2000026	6,431	14,959	3,627	8,528
	RP Cabecera Río Tera	2000032	0,031	5,447	2,208	5,416
	ZR MI Río Tera	2000049	0,083	0,000	0,000	0,000
	Bombeo Valle del Tera (Tera)	2000061	0,954	0,911	0,241	0,000
	Bombeo Sanabria (Tera)	2000284	0,294	0,275	0,108	0,000
	RP Arroyo del Regato	2000299	0,001	2,984	0,771	2,983
	RP Avoó de Vidriales	2000336	--	1,826	0,491	1,826
Abastecimiento	Bombeo La Maragatería (Tera)	2000521	1,081	0,219	0,078	0,000
	Puebla de Sanabria	3000014	0,744	0,258	0,034	0,000
	Tera	3000016	0,514	0,247	0,042	0,000
	Bombeo Valle del Tera (Tera)	3000023	0,967	0,383	0,055	0,000
	Benavente y Valle del Tera	3000155	3,193	3,749	0,423	0,556
	Bombeo Sanabria-Tera	3000187	0,408	0,565	0,096	0,157
	Bombeo La Maragatería - Tera	3000219	0,154	0,108	0,015	0,000
Acuicultura	Lago de Sanabria	3800028	--	11,034	0,937	11,034

Tabla 22. Reserva de recursos del Sistema Tera. (Fuente: Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero, 2012)

Tal y como se aprecia en la Tabla 22, la reserva de los recursos se lleva a cabo siempre y cuando el volumen del derecho concedido sea menor que el volumen asignado en el plan. En total en el sistema del río Tera se reservan 80,652 hm³ al año, de los cuales un 85% está destinado al regadío.



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

5.7. CAUDALES ECOLÓGICOS

Según el Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero del 2009 el río Tera es considerado como una masa de agua permanente con un grado de alteración hidrológica global no muy alterado, según informes de IAHRIS, en el tramo de la cabecera al lago de Sanabria.

Las masas de agua estudiadas en el Anexo 4 del Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero (2012) son las expuestas en el epígrafe *ESTADO DE LAS MASAS DE AGUA SUPERFICIALES*:

- 214: Tera y afluentes desde cabecera a lago Sanabria
- 198: Tera desde salida del lago de Sanabria hasta Río Villarino
- 200: Tera desde su confluencia con Río Villarino hasta el embalse de Cernadilla
- 258: Tera desde la presa Nuestra Señora del Agavanzal hasta las afueras (aguas abajo) de la Calzada de Tera
- 50: Tera desde aledaños de Calzada de Tera hasta confluencia con el Esla

El tramo comprendido entre los embalses queda analizado por el estudio de cada uno de ellos.

	Aportación mínima (hm ³ /s)	Aportación sequías (hm ³ /s)	Caudal natural (media anual) (m ³ /s)	Caudal básico (media anual) (m ³ /s)
214	19,589	5,591	1,76	0,15
198	20,186	10,093	-	-
200	33,399	16,7	-	-
258	99,97	49,989	-	-
50	-	-	25,34	-

Tabla 23. Caudales y aportaciones mínimas en los distintos tramos estudiados por el Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero, 2012 (Fuente: Elaboración propia)

En relación a sus caudales máximos, se ha llegado a la conclusión (Anexo 4 del Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero, 2012) de que no se produce rotura alguna de conectividad y tampoco reducción del refugio en los distintos estadios de trucha por debajo del 70% en el tramo 214, mientras que en el 50 se exceptúa la trucha alevín.

Los caudales máximos y mínimos propuestos en el citado Plan para la masa de agua 214 son los siguientes:

PROPUESTA DE RÉGIMEN DE CAUDALES MÍNIMOS													
CAUDAL HIDROBIOLÓGICO	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Media anual
Propuesta Fvar4; Q 50% (Q 25*1,51)	0,19	0,32	0,32	0,33	0,27	0,41	0,39	0,37	0,22	0,19	0,18	0,19	0,28
Probab (%)	88,5	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	96,2	84,6	42,3*	53,8	88,8

* El incumplimiento del análisis de probabilidades del mes de agosto puede considerarse exceptuable para el conjunto del año

PROPUESTA DE RÉGIMEN DE CAUDALES MÁXIMOS													
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	
Q máximo	12,45	12,45	12,45	12,45	12,45	12,45	12,45	12,45	12,45	12,45	12,45	12,45	
Q nat med (s/larga)	2,79	4,90	5,34	4,79	5,12	7,34	7,68	6,34	3,40	1,44	0,87	1,30	

Tabla 24. Propuestas de regimenes de caudales mínimos y máximos para la masa de agua 214 (Fuente: Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero, 2012)



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

CAUDAL GENERADOR									
CAUDAL PUNTA (T= 5,2 años):					588 m³/s				
MES DE MÁXIMA FRECUENCIA:					ENERO				
CARACTERIZACIÓN DEL HIDROGRAMA DEL EVENTO GENERADOR TIPO									
	Rama ascendente			Rama descendente			Total hidrograma		
	Perc. 70	Perc. 90	Máx	Perc. 70	Perc. 90	Máx	Perc. 70	Perc. 90	Máx
Tasa cambio (m³/s/día)	560,0	646,2	696,2	328,8	401,5	514,3			
Duración (horas)	23,5	20,3	18,9	40,0	32,7	25,6	63,4	53,1	44,4
Volumen (hm³)	23,14	20,06	18,61	39,41	32,28	25,20	62,55	52,33	43,81
% s/ Apo. natural	1,8%	1,6%	1,5%	3,1%	2,5%	2,0%	4,9%	4,1%	3,4%

Nota: "T" procede de estudios realizados por el CEDEX

Nota: Datos de caudal generador a falta de contraste con los Planes de Seguridad de Presas

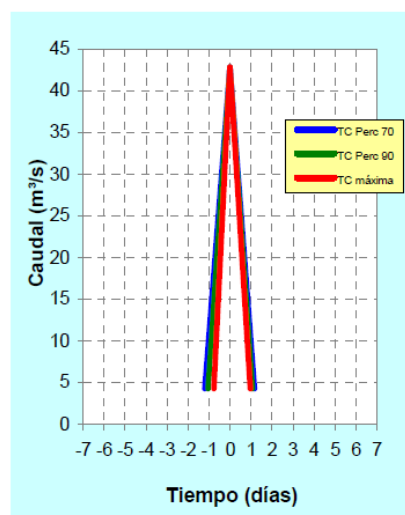


Tabla 25. Caudal generador del lecho del río Tera y Caracterización del Hidrograma del evento generador del lecho para la masa de agua 214 (Fuente: Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero, 2012)

Figura 40. Hidrograma del evento generador del lecho para la masa de agua 214 (Fuente: Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero, 2012)

En el tramo del río Tera desde Calzada de Tera hasta el río Esla (50) se proponen los siguientes caudales mínimos y máximos:

PROPUESTA DE RÉGIMEN DE CAUDALES MÍNIMOS

CAUDAL HIDROBIOLÓGICO		Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Media anual	% s/Qnat
Propuesta Fvar4; Q bas	Caudal (m³/s)	3,20	3,74	4,30	4,38	4,09	4,56	4,86	4,43	3,46	3,20	3,20	3,20	3,89	15%
	Probab (%)	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	96,2	96,2	96,2	99,0	

PROPUESTA DE RÉGIMEN DE CAUDALES MÁXIMOS

	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Q máximo	247,8	247,8	247,8	247,8	86,99	86,99	86,99	86,99	86,99	86,99	86,99	86,99
Q nat med (s/larga)	20,15	29,26	48,85	47,59	36,16	35,34	29,71	24,20	14,52	7,45	5,61	7,36

Tabla 26. Propuestas de regímenes de caudales mínimos y máximos para la masa de agua 50 (Fuente: Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero, 2012)

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

CAUDAL GENERADOR									
CAUDAL PUNTA (T= 2,4 años):					319 m³/s				
MES DE MÁXIMA FRECUENCIA:					ENERO				
CARACTERIZACIÓN DEL HIDROGRAMA DEL EVENTO GENERADOR TIPO									
	Rama ascendente			Rama descendente			Total hidrograma		
	Perc. 70	Perc. 90	Máx	Perc. 70	Perc. 90	Máx	Perc. 70	Perc. 90	Máx
Tasa cambio (m³/s/día)	197,3	262,1	290,3	197,6	235,5	292,4			
Duración (horas)	35,6	26,8	24,2	35,5	29,8	24,0	71,1	56,6	48,2
Volumen (hm³)	18,72	14,09	12,72	18,69	15,68	12,63	37,41	29,76	25,35
% s/ Apo. natural	2,2%	1,7%	1,5%	2,2%	1,9%	1,5%	4,4%	3,5%	3,0%

Nota: "T" procede de estudios realizados por el CEDEX

Nota: Datos de caudal generador a falta de contraste con los Planes de Seguridad de Presas

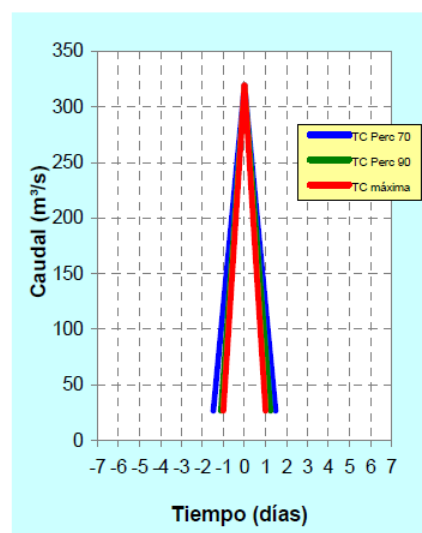


Tabla 27. Caudal generador del lecho del río Tera y Caracterización del Hidrograma del evento generador del lecho para la masa de agua 50 (Fuente: Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero, 2012)

Figura 41. Hidrograma del evento generador del lecho para la masa de agua 50 (Fuente: Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero, 2012)

A continuación se exponen una serie de Tablas, a título informativo, que recogen los resultados indicadores del caudal ecológico para las diferentes masas de agua explicadas con anterioridad:

Río Tera desde aledaños de Calzada de Tera hasta confluencia con el Esla

RESULTADOS INDICADORES DEL CAUDAL ECOLÓGICO	Caudal (m³/s)	Aportación anual (hm³/año)	% s/Qnat
Q Básico (series anuales de datos diarios)	3,263 m³/s	102,91	12,80%
Percentil 5 (serie de datos diarios) *	3,747 m³/s	118,15	14,70%
Percentil 15 (serie de datos diarios) *	5,477 m³/s	172,71	21,49%
Q21 (series anuales de datos diarios)	4,191 m³/s	132,17	16,44%
Q25 (series anuales de datos diarios)	4,284 m³/s	135,10	16,81%

Tabla 28. Resultados indicadores del caudal ecológico para la masa de agua 50. (Fuente: Elaboración propia)

Río Tera desde salida del lago de Sanabria hasta Río Villarino

RESULTADOS INDICADORES DEL CAUDAL ECOLÓGICO	Caudal (m³/s)	Aportación anual (hm³/año)	% s/Qnat
Q Básico (series anuales de datos diarios)	0,402 m³/s	12,66	5,38%
Percentil 5 (serie de datos diarios) *	0,372 m³/s	11,75	4,99%
Percentil 15 (serie de datos diarios) *	0,913 m³/s	28,79	12,22%
Q21 (series anuales de datos diarios)	0,473 m³/s	14,93	6,34%
Q25 (series anuales de datos diarios)	0,487 m³/s	15,37	6,53%

Tabla 29. Resultados indicadores del caudal ecológico para la masa de agua 198. (Fuente: Elaboración propia)



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

Río Tera desde su confluencia con Río Villarino hasta el embalse de Cernadilla

RESULTADOS INDICADORES DEL CAUDAL ECOLÓGICO	Caudal (m³/s)	Aportación anual (hm³/año)	% s/Qnat
Q Básico (series anuales de datos diarios)	0,672 m³/s	21,18	5,10%
Percentil 5 (serie de datos diarios) *	0,596 m³/s	18,80	4,53%
Percentil 15 (serie de datos diarios) *	1,505 m³/s	47,47	11,44%
Q21 (series anuales de datos diarios)	0,787 m³/s	24,82	5,98%
Q25 (series anuales de datos diarios)	0,810 m³/s	25,53	6,15%

Tabla 30. Resultados indicadores del caudal ecológico para la masa de agua 200.
(Fuente: Elaboración propia)

Río Tera desde su cabecera hasta la entrada al lago de Sanabria en Ribadelago y afluentes (río Segundera desde el Embalse de La Playa hasta río Cárdena)

RESULTADOS INDICADORES DEL CAUDAL ECOLÓGICO	Caudal (m³/s)	Aportación anual (hm³/año)	% s/Qnat
Q Básico (series anuales de datos diarios)	0,213 m³/s	6,70	5,43%
Percentil 5 (serie de datos diarios) *	0,191 m³/s	6,02	4,88%
Percentil 15 (serie de datos diarios) *	0,477 m³/s	15,03	12,18%
Q21 (series anuales de datos diarios)	0,251 m³/s	7,92	6,42%
Q25 (series anuales de datos diarios)	0,258 m³/s	8,14	6,60%

Tabla 31. Resultados indicadores del caudal ecológico para la masa de agua 214.
(Fuente: Elaboración propia)

Río Tera desde la presa Nuestra Señora del Agavanzal hasta las afueras (aguas abajo) de la Calzada de Tera

RESULTADOS INDICADORES DEL CAUDAL ECOLÓGICO	Caudal (m³/s)	Aportación anual (hm³/año)	% s/Qnat
Q Básico (series anuales de datos diarios)	2,484 m³/s	78,35	11,06%
Percentil 5 (serie de datos diarios) *	2,916 m³/s	91,96	12,99%
Percentil 15 (serie de datos diarios) *	4,212 m³/s	132,83	18,76%
Q21 (series anuales de datos diarios)	3,109 m³/s	98,04	13,85%
Q25 (series anuales de datos diarios)	3,175 m³/s	100,12	14,14%

Tabla 32. Resultados indicadores del caudal ecológico para la masa de agua 258.
(Fuente: Elaboración propia)



6. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE EMBALSES

6. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE EMBALSES

6.1. DESCRIPCIÓN GENERAL

El sistema de embalses que compone la zona son:

1. Embalse de Cernadilla.
2. Embalse de Valparaíso.
3. Embalse de Nuestra Señora del Agavanzal.

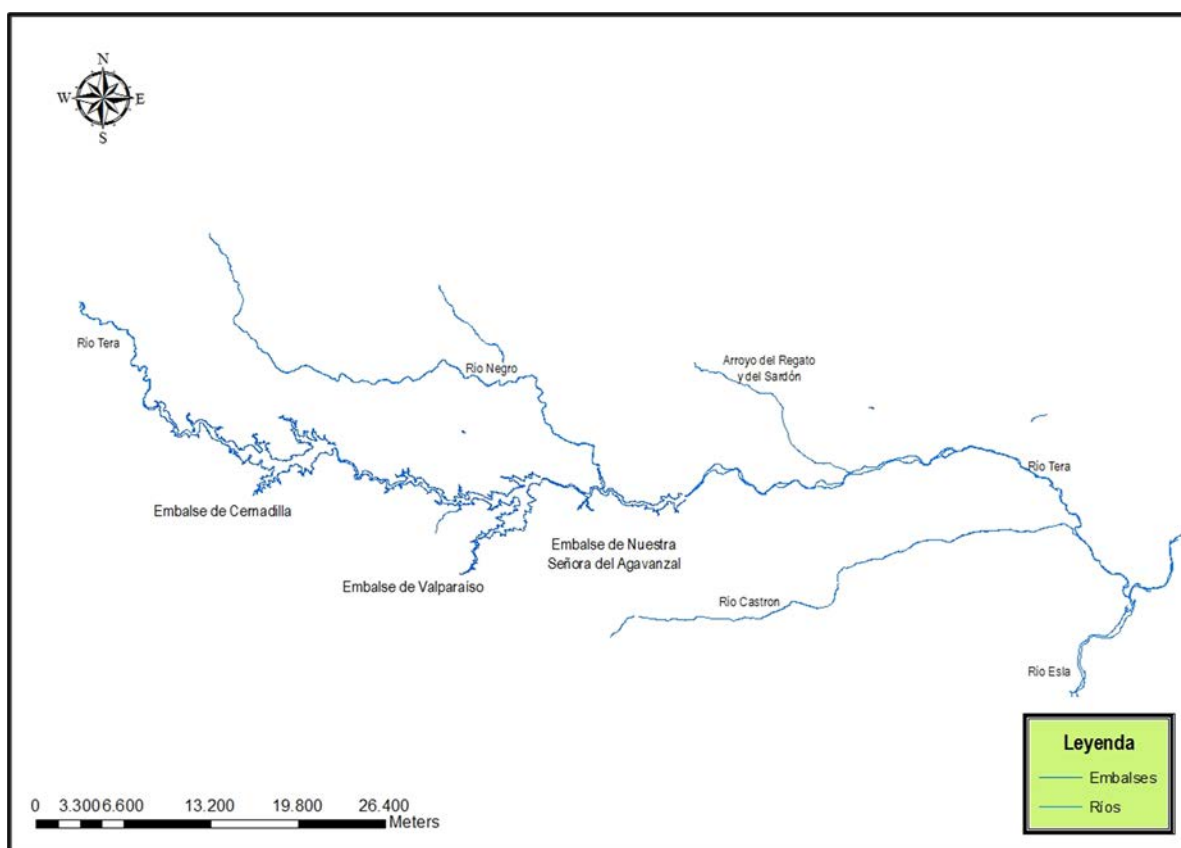


Figura 42. Mapa de situación de embalses y ríos (Fuente:
Elaboración propia)

Estos tres embalses se localizan en el tramo medio del río Tera, en la Vega que se forma en esta zona. Cerca de pueblos como Asturianos, Palacios de Sanabria, Manzanal de Arriba, Cernadilla, Mombuey y Rionegro del Puente, así como Puebla de Sanabria donde tiene su empuje el primer embalse.

6.2. EMBALSES

A continuación se describen y especifican las características generales de cada uno de los embalses presentes en este estudio, a través de los datos proporcionados por las fichas técnicas del MAGRAMA (de los embalses y las presas, adjuntadas en Anexo III de *EMBALSES Y PRESAS* en formato electrónico) y del SEPREM.

6.2.1. EMBALSE DE CERNADILLA

6.2.1.1. DATOS GEOGRÁFICOS

El embalse de Cernadilla pertenece al río Tera y empieza en Puebla de Sanabria. Se encuentra en el municipio de Manzanal de Arriba en la comarca de Sanabria y, por tanto, en la provincia de Zamora; perteneciendo a la cuenca hidrográfica del río Duero. En concreto y como dato particular, la presa presenta las coordenadas UTM para Datum ED-50 Huso 30 213312 – 4657944.

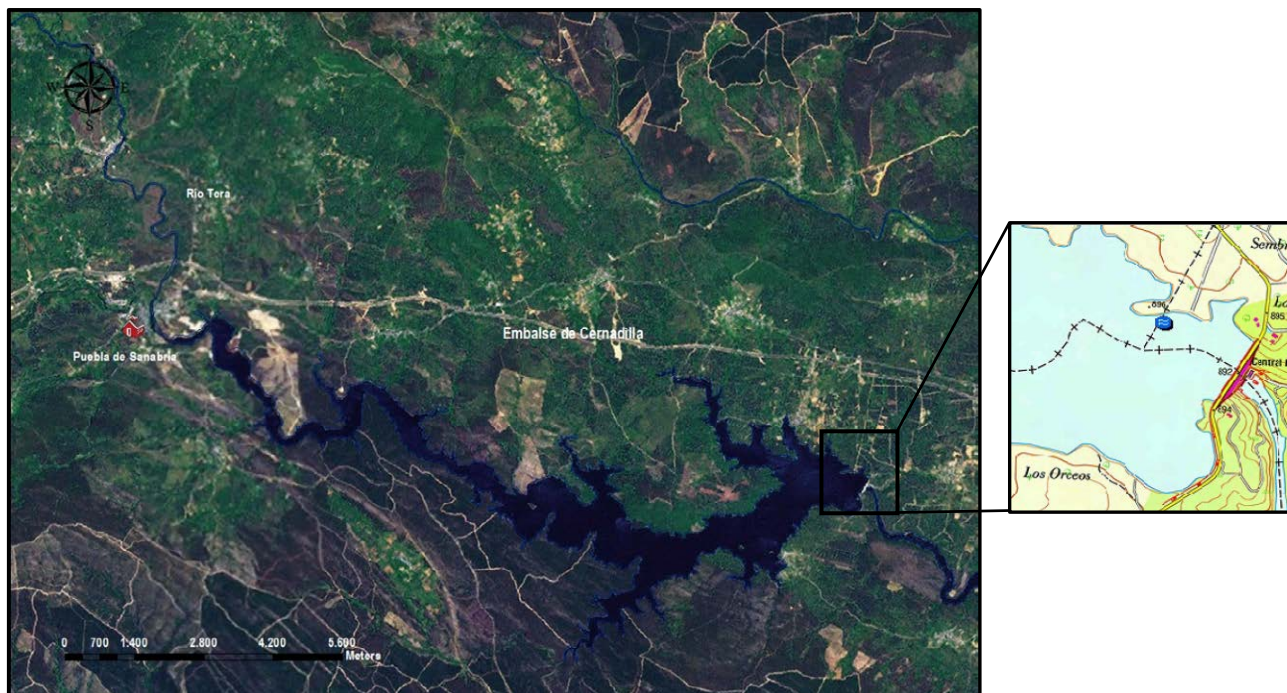


Figura 43. Embalse de Cernadilla (Fuente: Elaboración propia y MAGRAMA)

6.2.1.2. USOS DEL EMBALSE

Su uso principal es el hidroeléctrico, aunque debido a las zonas de cultivos próximas (véase mapa de Usos del Suelo) se emplea también para riego. Las normas para su explotación hidroeléctrica fueron aprobadas en 2010.

En general, el procedimiento para obtener energía eléctrica mediante la hidráulica se basa en: la energía potencial gravitatoria que posee la masa de agua de un cauce natural en virtud de un desnivel, es decir, el salto geodésico. El agua en esa caída se hace pasar por una turbina hidráulica, la cual transmite la energía a un generador donde se transforma en energía eléctrica.

6.2.1.3. DATOS HIDROLÓGICOS

Superficie de la cuenca hidrográfica (km ²)	576
Aportación media anual (hm ³)	547
Precipitación media anual (mm)	850
Caudal punta avenida de proyecto (m ³ /s)	1185

Tabla 33. Datos hidrológicos del embalse de Cernadilla (Fuente: Elaboración propia. Datos del MAGRAMA)

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

6.2.1.4. DATOS DE LA PRESA

La presa del embalse de Cernadilla se denomina Dique del Collado, fue construida en el año 1969. Esta presa es de gravedad, se compone de una estructura de hormigón de sección triangular; la base es ancha y se va estrechando hacia la parte superior; la cara que da al embalse es prácticamente vertical. En planta se puede observar que es recta o de curva suave.

La estabilidad de la presa de Cernadilla radica en su propio peso. Su altura suele estar limitada por la resistencia del terreno en 11 metros.

Tipo de presa	Gravedad
Cota coronación (m)	892
Altura desde cimientos (m)	11
Longitud de coronación (m)	644
Cota cimentación (m)	881,750
Cota del cauce en la presa (m)	885
Volumen del cuerpo presa (1000 m3)	16,618

Tabla 34. Datos de la presa Cernadilla (Dique del Collado) (Fuente: Elaboración propia. Datos del MAGRAMA)



Figura 44. Imagen de la presa Cernadilla (Dique del Collado) (Fuente: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Presa_de_Cernadilla.jpg)

6.2.1.5. DATOS DEL EMBALSE

El embalse de Cernadilla es un embalse de dimensiones medias, como se puede observar en la Tabla 35 expuesta a continuación:

Superficie del embalse nivel máximo normal (ha)	1394
Capacidad nivel máximo normal (hm ³)	255,4
Cota del nivel máximo normal (m)	889

Tabla 35. Datos del embalse de Cernadilla (Fuente: Elaboración propia. Datos del MAGRAMA)

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

6.2.1.6. DATOS DEL ALIVIADERO

El aliviadero de esta presa se basa en compuertas de segmentos, con el fin de descargar pequeños caudales o liberar el embalse de materiales fluctuantes. De esta manera se consigue la disipación del vertedero para mejorar su funcionamiento en las fases iniciales de grandes descargas.

Este aliviadero tiene una capacidad de 1129 m³/s.

6.2.1.7. DATOS DEL DESAGÜE

En cuanto al desagüe, se conoce que tiene una capacidad de 64 m³/s.

A través de las figuras 1 y 2 (vista en perfil y en planta) se puede observar las características de la presa, además de la posición del aliviadero y el desagüe.

6.2.2. EMBALSE DE VALPARAÍSO

6.2.2.1. DATOS GEOGRÁFICOS

El embalse conocido como Valparaíso es el que sigue al embalse de Cernadilla, por lo tanto forma parte de la cuenca del Duero. Se encuentra en los municipios de Mombuey y Villardeciervos y recorre los pueblos de Asturianos, Valparaíso, Codesal, Cional, Mombuey y Manzanal de Arriba. La presa de Valparaíso fue construida después que la de Cernadilla, en concreto en el año 1987, sin embargo la aprobación de las normas para su explotación fue anterior que en el primer embalse, en 2008. Las coordenadas concretas de su presa son, para Datum ED-50 Huso 30, 228808 y 4654377.

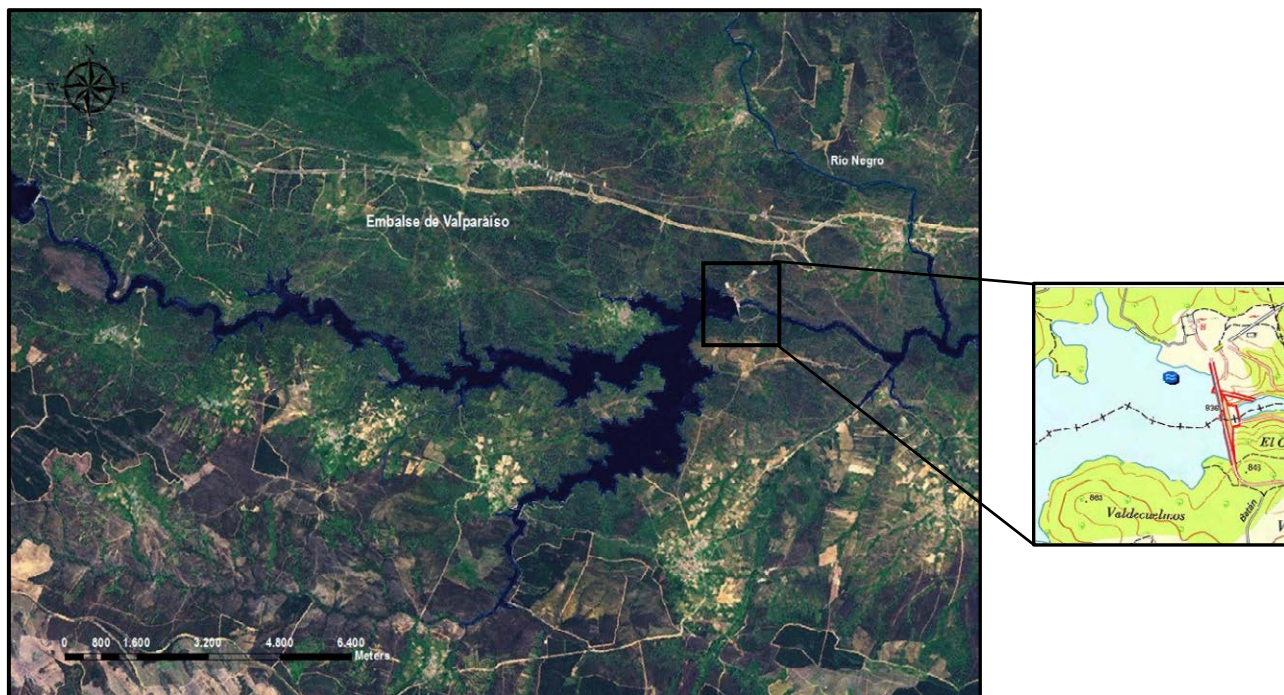


Figura 45. Embalse de Valparaíso (Fuente: Elaboración propia y MAGRAMA)

6.2.2.2. USOS DEL EMBALSE

El uso principal del embalse de Valparaíso es el hidroeléctrico, aunque también se conoce que se derivan ciertos caudales para riego de las zonas de cultivo aguas abajo. Estas derivaciones para riego no suponen una gran cantidad de caudal, sino que en meses de verano y en casos necesarios se aportan ciertos niveles de

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

agua a las zonas agrícolas de los pueblos situados aguas abajo cercanos a los embalses de Valparaíso y Nuestra Señora de Agavanzal.

6.2.2.3. DATOS HIDROLÓGICOS

Superficie de la cuenca hidrográfica (km ²)	798
Aportación media anual (hm ³)	579
Precipitación media anual (mm)	1140
Caudal punta avenida de proyecto (m ³ /s)	1097

Tabla 36. Datos hidrológicos del embalse de Valparaíso (Fuente: Elaboración propia y MAGRAMA)

6.2.2.4. DATOS DE LA PRESA

La presa de Valparaíso es de gravedad, como la presa del embalse de Cernadilla, y se compone de una estructura de hormigón explicada anteriormente.

En este caso, la presa de Valparaíso se caracteriza por una altura mayor que la de la presa Dique del Collado (embalse de Cernadilla), en concreto de 67 metros. La estabilidad de la presa de Valparaíso también radica en el propio peso de la estructura.

Tipo de presa	Gravedad
Cota coronación (m)	836
Altura desde cimientos (m)	67
Longitud de coronación (m)	540
Cota cimentación (m)	769
Cota del cauce en la presa (m)	780
Volumen del cuerpo presa (1000 m ³)	269,826

Tabla 37. Datos de la presa de Valparaíso (Fuente: Elaboración propia y MAGRAMA)



Figura 46. Imagen de la presa de Valparaíso (Fuente: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Presa_de_Valparaíso.jpg)

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

6.2.2.5. DATOS DEL EMBALSE

El embalse de Valparaíso resulta disponer de unas dimensiones menores que las del embalse de Cernadilla, a pesar de su mayor altura. Aunque estas no distan mucho de las del primer embalse, por lo tanto se puede deducir que es un embalse de dimensiones medias, según los datos recogidos en la Tabla 38:

Superficie del embalse nivel máximo normal (ha)	1223
Capacidad nivel máximo normal (hm ³)	168,5
Cota del nivel máximo normal (m)	833

Tabla 38. Datos del embalse de Valparaíso (Fuente: Elaboración propia y MAGRAMA)

6.2.2.6. DATOS DEL ALIVIADERO

El segundo embalse posee un aliviadero, al contrario que el de Cernadilla. La regulación de dicho aliviadero es de una compuerta de segmento con una capacidad de 1012 m³/s de caudal.

6.2.2.7. DATOS DEL DESAGÜE

Existe en esta presa un desagüe con una capacidad de 79,6 m³/s.



Figura 47. Imagen de la presa y el embalse de Valparaíso (Fuente: SEPREM)

6.2.3. EMBALSE DE NUESTRA SEÑORA DEL AGAVANZAL

6.2.3.1. DATOS GEOGRÁFICOS

El embalse de Nuestra Señora del Agavanzal es el tercero del sistema de embalses explicado, situado aguas arriba de zonas de regadío, como es posible observar en el Mapa de Usos del Suelo. Las normas para la explotación de esta presa fueron aprobadas en 2008, al igual que las de Valparaíso. Se encuentra cercano a los pueblos de Villar de Farfón, Val de Santa María y Vega de Tera. La presa de este embalse se encuentra en las coordenadas 239648 y 4652354 (Datum ED50, Huso 30).

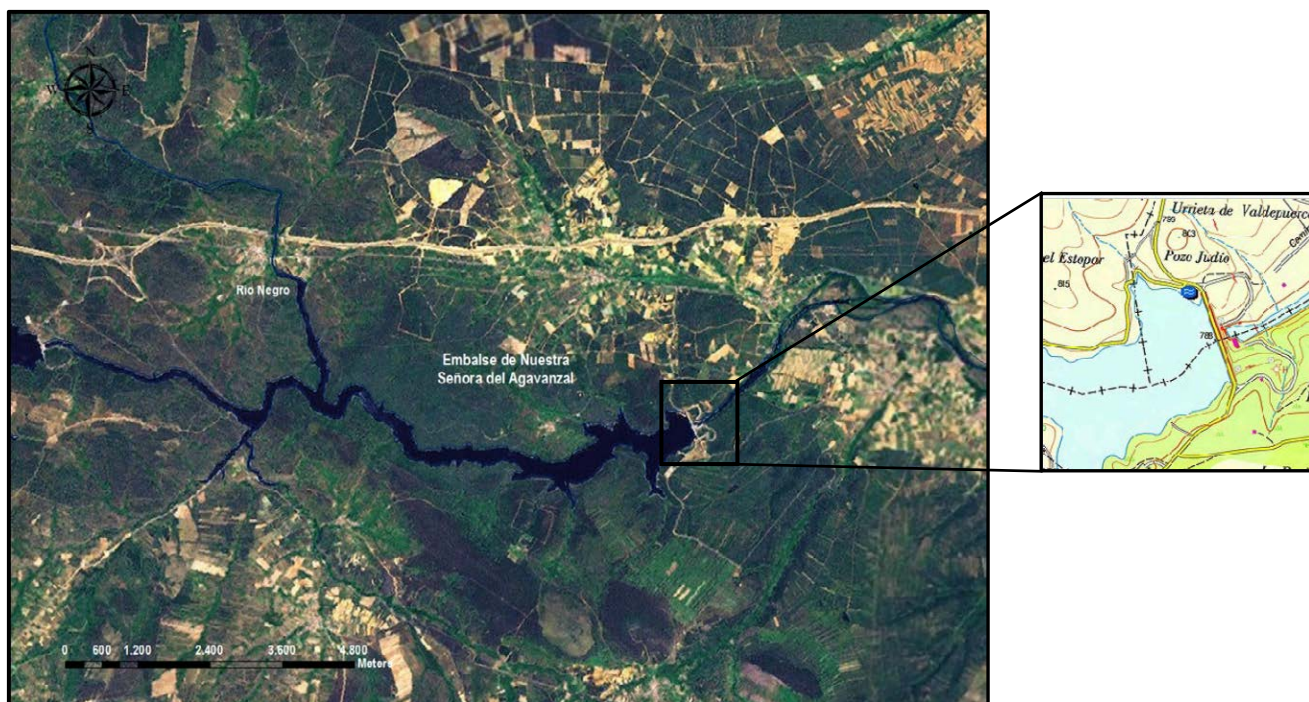


Figura 48. Embalse de Nuestra Señora del Agavanzal (Fuente: Elaboración propia y MAGRAMA)

6.2.3.2. USOS DEL EMBALSE

El uso principal del embalse es el aprovechamiento hidroeléctrico, aunque también se derivan pequeñas proporciones en épocas estivales a los terrenos agrícolas de los pueblos cercanos, al igual que el embalse de Valparaíso.

6.2.3.3. DATOS HIDROLÓGICOS

Superficie de la cuenca hidrográfica (km ²)	1314
Aportación media anual (hm ³)	812
Precipitación media anual (mm)	---
Caudal punta avenida de proyecto (m ³ /s)	1807

Tabla 39. Datos hidrológicos del embalse de Nuestra Señora del Agavanzal (Fuente: Elaboración propia y MAGRAMA)

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

6.2.3.4. DATOS DE LA PRESA

Tipo de presa	Gravedad
Cota coronación (m)	788
Altura desde cimientos (m)	42,5
Longitud de coronación (m)	481
Cota cimentación (m)	745
Cota del cauce en la presa (m)	748
Volumen del cuerpo presa (1000 m3)	147,90

Tabla 40. Datos de la presa de Nuestra Señora del Agavanzal (Fuente: Elaboración propia y MAGRAMA)

La presa de Nuestra Señora del Agavanzal es la más reciente de todo el sistema de embalses que comprende este Estudio, ya que fue construida en 1994. Como es posible apreciar en la Tabla 40, constituye la presa de menores dimensiones de los tres embalses estudiados en el presente documento.



Figura 49. Imagen de la presa de Nuestra Señora del Agavanzal (Fuente: SEPREM)

6.2.3.5. DATOS DEL EMBALSE

El embalse de Nuestra Señora del Agavanzal se caracteriza por una capacidad de embalse mucho menor que los anteriores.

Superficie del embalse nivel máximo normal (ha)	365
Capacidad nivel máximo normal (hm ³)	35,9
Cota del nivel máximo normal (m)	785

Tabla 41. Datos del embalse de Nuestra Señora del Agavanzal (Fuente: Elaboración propia y MAGRAMA)

6.2.3.6. DATOS DEL ALIVIADERO

El aliviadero del tercer embalse del sistema de embalses se caracteriza por una capacidad de 1500 m³/s y su compuerta de regulación es de segmento.

6.2.3.7. DATOS DEL DESAGÜE

En relación al desagüe de la presa de Nuestra Señora del Agavanzal, cabe mencionar que se caracteriza por una capacidad de 68 m³/s.

7. CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

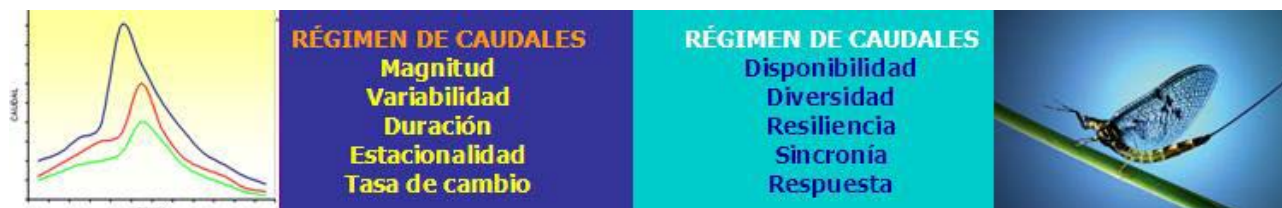


Figura 51. Significación ambiental de los principales aspectos del régimen de caudales.
(Fuente: Martínez y Fernández, 2010)

De manera que, la **magnitud** de los caudales **garantiza la disponibilidad de hábitat** de los seres vivos que se presentan en la zona:

1. Caudales asociados a **avenidas extraordinarias**:

- mantienen el buen estado y productividad de los ecosistemas situados en las llanuras de inundación.
- rejuvenecen el bosque ripario.
- posibilitan un flujo bidireccional entre cauce y llanura de inundación de materiales como sedimentos, nutrientes y energía.
- Función de recarga de acuíferos.
- Posibilitan el acceso de numerosas especies a lugares considerados adecuados para la reproducción y cría.

Además, las avenidas resultan críticas en la conformación y estabilidad del cauce, manteniendo su morfología en un equilibrio dinámico, tanto en sección como en planta, estimulando la creación y rejuvenecimiento de canales y pozas laterales, la formación de barras...

2. Caudales asociados a **avenidas ordinarias**, que cumplen un papel fundamental al asegurar los procesos de limpieza y revitalización del sustrato, mantener unas adecuadas condiciones en el medio hiporreico, asegurar su diversidad granulométrica y la secuencia rápido-remanso en el eje fluvial.

Además, estas avenidas contribuyen a mejorar los procesos biológicos de muchas especies como las migraciones de organismos o la germinación de estirpes vegetales en zonas de ribera.

3. Caudales extraordinarios con recurrencia de décadas o períodos superiores también resultan de elevada importancia ya que pueden arrancar árboles y transportar grandes restos vegetales que, una vez depositados en el cauce, contribuyen a mantener la diversidad hidráulica y la creación de hábitats cruciales para muchas especies.

4. En cuanto a los **valores mínimos** del régimen natural de caudales, también juegan un decisivo rol a nivel de microhábitat, en tanto que pueden afectar a la potencialidad del medio hiporreico, así como a sus condiciones hidráulicas y a la calidad del agua. Estos pueden llegar a limitar la transitabilidad longitudinal en el río y con ello propiciar condiciones críticas a las que sólo las especies nativas están adaptadas. Es decir, sirve como regulador de especies alóctonas en el medio acuático. Los valores más bajos del régimen natural de caudales funcionan como barrera frente a la intromisión de especies foráneas.

Además de la magnitud, existen otros aspectos de los caudales circulantes que es necesario considerar:

1. **Duración de las inundaciones**: determina cómo y durante cuánto tiempo está garantizada la conectividad logitudinal y transversal. Según la duración de estos eventos, las especies piscícolas pueden acceder a lugares de cría y retornar al cauce principal o quedar aislados en pequeñas pozas.

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

2. La **duración de las sequías** resulta un factor relevante, debido a que nunca debe superar la capacidad de resiliencia de las especies nativas.
3. Las **tasas de crecida y defluencia** de los caudales circulantes deben de la misma forma guardar sincronía con la capacidad de respuesta de los organismos. Hasta un 14% de pérdida de biomasa de la comunidad béntica se produce por bruscos incrementos de caudal (Athington, 2002).
4. La **estacionalidad** de los eventos de avenidas y sequías debe encontrarse una vez más en sincronía con los factores ambientales (tales como temperatura, horas de luz...) y con los ciclos vitales de las especies.
5. En cuanto a la **variabilidad**, inter e intraanual, de los caudales circulantes, condicionará la diversidad hidráulica y por consiguiente la biodiversidad.

Las avenidas extraordinarias y ordinarias, sequías normales y extremas, valores habituales del régimen natural de caudales (cada uno con sus propias pautas de estacionalidad, duración y variabilidad inter e intranual) son críticos para salvaguardar el ecosistema fluvial (C. Martínez y J.A. Fernández, 2011).

7.2. METODOLOGÍA

Se emplearán para el Estudio dos tipos de software, como previamente se ha explicado, con el fin de complementarlos y conseguir un análisis más completo. Los resultados de IAHRIS se encuentran en el Anexo V llamado *RESULTADOS IAHRIS* y los de IHA en el Anexo VI denominado *RESULTADOS IHA*, ambos disponibles en formato electrónico para cualquier tipo de consulta.

7.2.1. IAHRIS



Desarrollada por Martínez y Fernández (2006). Índices de alteración hidrológica en ecosistemas fluviales. Índices de **Alteración Hidrológica en Ríos (IAHRIS)**, software que permite obtener:

- 🔹 **Parámetros con los que caracterizar el régimen hidrológico**, tanto natural como alterado, en un punto determinado de un río. Dichos parámetros valoran aspectos hidrológicos del régimen enfocados hacia trascendencias ambientales (duración de las sequías, estacionalidad de las avenidas...).
- 🔹 En el caso de que el usuario facilite datos de estos dos regímenes, la aplicación calcula y genera una serie de **índices** que permiten evaluar el grado **de alteración del régimen hidrológico** en aquellos aspectos de mayor significación ambiental.
- 🔹 Disponiendo de datos en régimen natural y alterado, como previamente ha quedado explicado, IAHRIS asigna la **condición de masa** de agua muy **alterada** según dos criterios complementarios (**criterio P10-90 y criterio IAHMMA**).
- 🔹 Además IAHRIS permite, para un régimen natural dado, la obtención de un conjunto de escenarios de **regímenes ambientales** a nivel de aportación mensual para distintos tipos de año.

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

Los datos resultantes de este software IAH dependerán, como ha quedado explicado, de la información suministrada a esta aplicación. Cuanta mayor y más completa información de un punto sea aportada mejores resultados se esperarán. De manera que, aportando series de caudales diarios en régimen natural y alterado, siendo los registros coetáneos, IAHRIS facilitará:

CARACTERIZACIÓN DE LOS RÉGIMENES NATURAL Y ALTERADO

- 📊 **Variabilidad interanual**, clasificando los años en húmedos, medios o secos según su aportación anual esté en el cuartil que corresponde a los valores más altos (húmedos), en el cuartil de los más bajos (secos) o en los dos intermedios (medios).
- 📊 **Variabilidad intraanual**. En todos los años que entran en cada tipo (húmedo, medio, seco) calcula la aportación mensual mediana que corresponde a cada mes.
- 📊 Variables que, de forma numérica, permiten caracterizar los aspectos más significativos en el ámbito ambiental del régimen de caudales. En concreto, diecinueve **parámetros**.

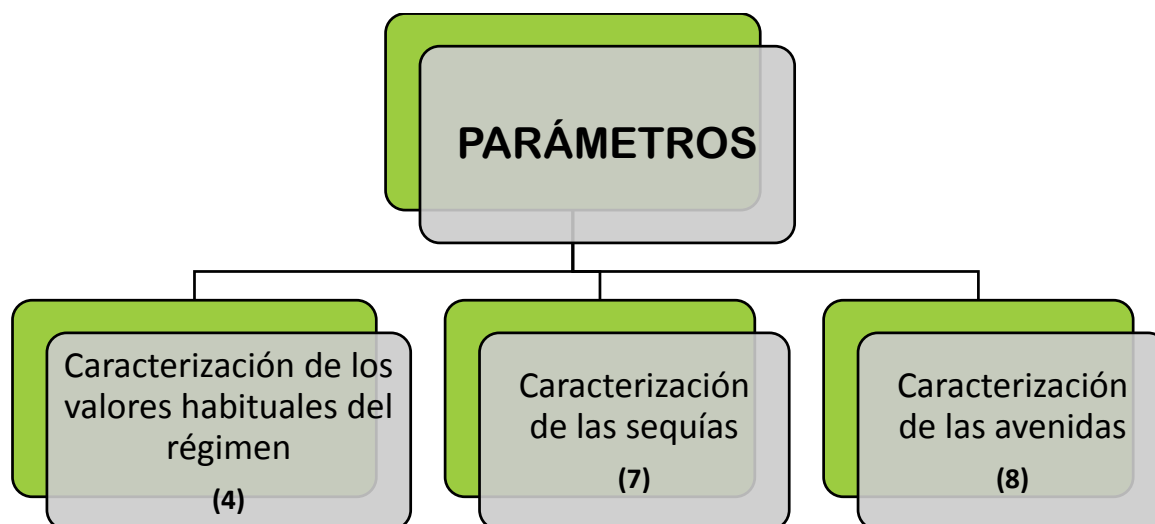


Figura 52. Parámetros que caracterizan los aspectos más significativos en el ámbito ambiental del régimen de caudales. (Fuente: Elaboración propia)

- 📊 **Curva de caudales clasificados**

CARACTERIZACIÓN DE LA ALTERACIÓN

- 📊 **Índices de alteración** que han sido calculados, en la mayoría de los casos, como cociente entre el valor del parámetro en régimen alterado y el valor de ese mismo parámetro en régimen natural. Dichos índices son los siguientes:

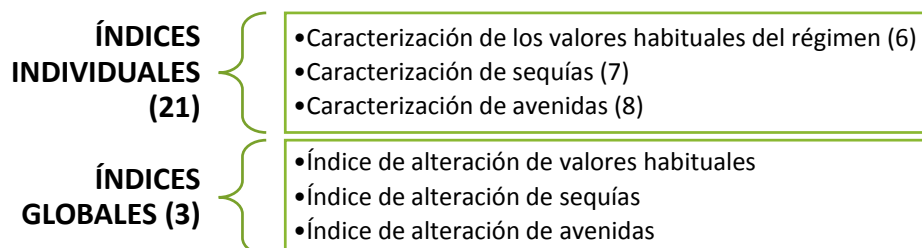


Figura 53. Índices de IAHRIS (Fuente: Elaboración propia)

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

En la evaluación de la alteración hidrológica en los tres análisis a realizar se emplean, como en el caso de la caracterización del régimen natural, los Índices de Alteración Hidrológica.

Los índices, para homogeneizar y facilitar su interpretación, presentan valores acotados entre cero y uno, siendo el cero indicativo de alteración máxima y uno de ausencia de alteración. Se han establecido cinco niveles o Estatus Hidrológicos distribuidos linealmente en el rango en el que se mueven los índices, asignando el código de colores recogido en la siguiente Tabla:

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5
$0,8 < I \leq 1$	$0,6 < I \leq 0,8$	$0,4 < I \leq 0,6$	$0,2 < I \leq 0,4$	$0 < I \leq 0,2$

Tabla 42. Relación entre la valoración cuantitativa y cualitativa de los índices y la gama de colores asignados (Fuente: Martínez y Fernández, 2010)

Con el propósito de facilitar la evaluación de la alteración global, se ofrecen los siguientes gráficos para las tres escalas (valores habituales, avenidas y sequías):

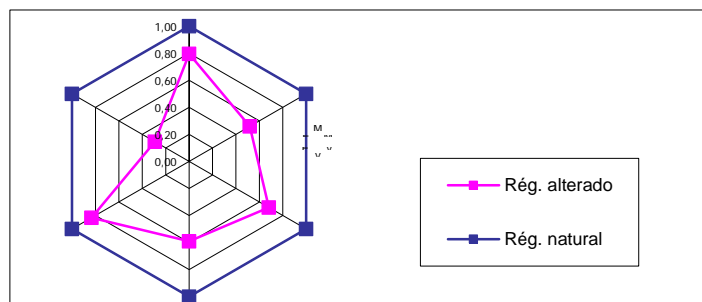


Figura 54. Ejemplo de representación en malla de los índices (Fuente: Análisis 1 de IAHRIS)

La gráfica en malla muestra simultáneamente los valores de los índices implicados en el aspecto evaluado. Además permite apreciar con facilidad cuán lejos o cerca está el valor actual que alcanza cada índice (línea rosa) de su cada su valor natural, que siempre, por la convención asumida, es uno (1).

Por otro, se calcula un **índice de alteración global** para cada componente - valores habituales; avenidas; sequías- que agrega los valores de los índices utilizados para así asignar una **valoración global** a cada uno de los aspectos considerados en ese componente del régimen. Ese índice agregado o global, se evalúa como el cociente entre el área definida por el polígono correspondiente al régimen alterado (delimitado por la línea roja de la figura), y la correspondiente al polígono del régimen natural, que lógicamente se corresponde a la superficie asociada a todos los índices con valor uno (línea azul de la figura).

También para estos índices de alteración global se establece un código de colores similar al presentado con anterioridad, aunque en este caso, al tratarse de comparación de superficies, la asignación de Estatus no se hace linealmente si no siguiendo una ley cuadrática.

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5
$0,64 < I \leq 1$	$0,36 < I \leq 0,64$	$0,16 < I \leq 0,36$	$0,04 < I \leq 0,16$	$0 < I \leq 0,04$

Tabla 43. Relación entre la valoración cuantitativa y cualitativa de los índices globales y la gama de colores asignada (Fuente: Martínez y Fernández, 2010)

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

La labor de los índices individuales consiste en que cada uno de ellos evalúa la alteración de un parámetro. En cambio, los índices globales evalúan cada uno la alteración de un componente, considerando conjuntamente la alteración de los parámetros utilizados para la caracterización de ese componente.

	ASPECTO	CÓDIGO	DENOMINACIÓN	Parámetro del que proviene
VALORES HABITUALES	MAGNITUD	IAH 1	Magnitud de las aportaciones anuales	P1
		IAH 2	Magnitud de las aportaciones mensuales	
	VARIABILIDAD	IAH 3	Variabilidad habitual	P4
		IAH 4	Variabilidad extrema	P2
	ESTACIONALIDAD	IAH 5	Estacionalidad de máximos	P3
		IAH 6	Estacionalidad de mínimos	
AVENIDAS	MAGNITUD Y FRECUENCIA	IAH 7	Magnitud de las avenidas máximas	P5
		IAH 8	Magnitud del Caudal Generador del Lecho	P6
		IAH 9	Magnitud del Caudal de conectividad	P7
		IAH 10	Magnitud de las avenidas habituales	P8
	VARIABILIDAD	IAH 11	Variabilidad de las avenidas máximas	P9
		IAH 12	Variabilidad de las avenidas habituales	P10
	DURACIÓN	IAH 13	Duración de avenidas	P11
	ESTACIONALIDAD	IAH 14	Estacionalidad de avenidas (12 valores, uno para cada mes)	P12
SEQUÍAS	MAGNITUD Y FRECUENCIA	IAH 15	Magnitud de las sequías extremas	P13
		IAH 16	Magnitud de las sequías habituales	P14
	VARIABILIDAD	IAH 17	Variabilidad de las sequías extremas	P15
		IAH 18	Variabilidad de las sequías habituales	P16
	DURACIÓN	IAH 19	Duración de sequías	P17
		IAH 20	Nº de días con caudal nulo (12 valores, uno para cada mes)	P18
	ESTACIONALIDAD	IAH 21	Estacionalidad de sequías (12 valores, uno para cada mes)	P19

Tabla 44. Relación de Índices de Alteración Hidrológica (IAH1 – IAH21) para regímenes coetáneos. (Fuente: Manual de usuario IAHRIS v 2.2)

El software de IAHRIS ofrece todos estos resultados en gráficas y tablas, ordenados en informes como Hojas de cálculo de Excel. La tabla 45 presenta la relación de todos los informes que puede procurar IAHRIS.

RELACIÓN DE INFORMES	
Caracterización de la variabilidad	1 RÉGIMEN NATURAL. CARACTERIZACIÓN DE LA VARIABILIDAD INTERANUAL
	1a RÉGIMEN ALTERADO. CARACTERIZACIÓN DE LA VARIABILIDAD INTERANUAL
	2 RÉGIMEN NATURAL. CARACTERIZACIÓN DE LA VARIABILIDAD INTRANUAL
	3 RÉGIMEN ALTERADO. CARACTERIZACIÓN DE LA VARIABILIDAD INTRANUAL
Caracterización del régimen: parámetros	4 RÉGIMEN NATURAL. PARÁMETROS HABITUALES PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN
	4a Régimen natural. Parámetros habituales para la caracterización del régimen (*)
	5 RÉGIMEN ALTERADO. PARÁMETROS HABITUALES PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN
	5a Régimen alterado. Parámetros habituales para la caracterización del régimen -no coetaneidad- (*)
Curvas de caudales clasificadas	5b Régimen alterado. Parámetros habituales para la caracterización del régimen (*)
	5c Régimen alterado. Parámetros habituales para la caracterización del régimen -no coetaneidad-
	6 RÉGIMEN NATURAL Y ALTERADO. VALORES MEDIOS DE LAS CURVAS ANUALES DE CAUDALES CLASIFICADOS
	6a Régimen natural. Valores medios de las curvas anuales de caudales clasificados
Evaluación de la alteración	7a Régimen Alterado. Índices de Alteración Hidrológica: Valores Habituales
	7b Régimen Alterado. Índices de Alteración Hidrológica: Valores Habituales (*)
	7c Régimen Alterado. Índices de Alteración Hidrológica: Valores Habituales (no coetaneidad)
	7d Régimen Alterado. Índices de Alteración Hidrológica: Avenidas y Sequías
INDICADOR GLOBAL según IPH	8 Régimen Alterado. Indicador P10-90 para masas muy alteradas. Caracterización de la alteración Hidrológica según IPH
	8a Régimen Alterado. Indicador IAH para masas muy alteradas. Caracterización de la alteración Hidrológica según IPH
	8b Régimen Alterado. Indicador IAH para masas muy alteradas. Caracterización de la alteración Hidrológica según IPH
	8c Régimen Alterado. Indicador IAH para masas muy alteradas. Caracterización de la alteración Hidrológica según IPH (*)
RAC	8d Régimen Alterado. Indicador IAH para masas muy alteradas. Caracterización de la alteración Hidrológica según IPH (*)
	9 RÉGIMEN AMBIENTAL DE CAUDALES (RAC). APORTACIONES PARA EL ESCENARIO ELEGIDO
	9a Régimen ambiental de caudales (RAC). Aportaciones para el escenario elegido (*)

Tabla 45. Relación de todos los informes que puede ofrecer IAHRIS. (*) Cuando sólo se dispone de datos mensuales. (Fuente: Manual de usuario IAHRIS v 2.2)



7.2.2. IHA (RICHTER)

Los Indicadores de Alteración Hidrológica (The Indicators of Hydrologic Alteration, IHA) se proponen en base a las ideas expuestas por Richter et al. (1996): *Los regímenes hidrológicos juegan un papel importante en la determinación de la composición de la biota, la estructura y función de ecosistemas acuáticos inundables y riparios. Sin embargo, el uso de la tierra y agua por parte del hombre está alterando substancialmente regímenes hidrológicos. Se requieren mejores evaluaciones cuantitativas de los cambios hidrológicos inducidos por el hombre para avanzar en la investigación de las implicaciones de la alteración hidrológica sobre la biota y para soportar planes de manejo y restauración del ecosistema.* Constituye un software que proporciona información útil para entender los impactos antrópicos sobre el medio fluvial, así como para proponer caudales ecológicos en aquellas masas consideradas alteradas. Este programa, creado por científicos de Nature Conservancy, facilita en análisis hidrológico de una manera ecológicamente significativa.

El objetivo básico de esta metodología es la caracterización de la variación temporal de las condiciones hidrológicas usando índices de relevancia biológica, sensibles a la influencia de acciones antrópicas tales como operación de embalses, bombeos de agua subterránea y distritos de riego. Muchos de estos índices pueden ser usados para caracterizar el hábitat físico (Soutwood, 1977, 1988; Poff & Ward, 1990; Townsend & Hildraw, 1994).

IHA 7.1 calcula un total de 67 parámetros estadísticos. Estos parámetros están divididos en 2 grupos, los **parámetros IHA** y los **parámetros de los componentes del caudal ecológico** (Environmental Flow Component, EFC).

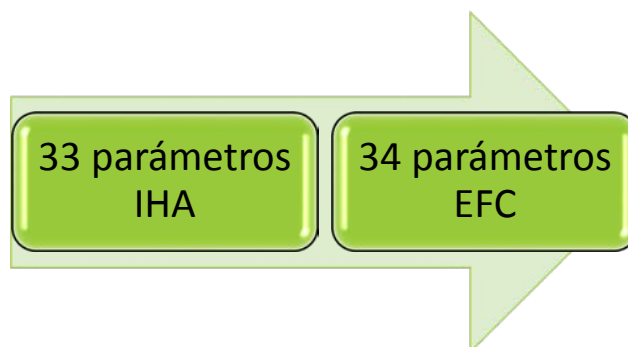


Figura 55. Número y tipo de parámetros que contiene el software IHA
(Fuente: Elaboración propia)

Los caudales ecológicos no son objeto del presente Estudio, por lo que no se encuentran definidos.

La forma de calcular los parámetros IHA puede ser como **estadísticas paramétricas** (media/desviación estándar) o **no paramétricas** (percentil).

IHA también calcula curvas de duración de caudales (Flow Duration Curves, FDC) para todos los datos, y separadamente para cada mes.

En el presente Estudio se analizarán algunos aspectos no analizados con IAHRIS y que, sin embargo, sí son ofrecidos por IHA, de manera que se ambos software se complementarán para generar unas conclusiones acerca del estado hidrológico de los tramos a evaluar.

7.2.2.1. PARÁMETROS IHA

Los 33 parámetros IHA quedan descritos en la Tabla 46, junto con sus influencias en el ecosistema. Es necesario mencionar diferentes aspectos:

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

- Para el grupo de parámetros 2 (condiciones hidrológicas extremas), los mínimos y máximos de 3, 7, 30 y 90 días se toman como promedios móviles de la duración adecuada calculados para cada período posible que se encuentre completamente dentro del año hidrológico.
- Los días de caudal cero y los parámetros del índice del flujo de base en el grupo 2 siguen el modelo del conjunto de parámetros descritos por Poff y Ward (1989).
- Para el grupo de parámetros 3 (condiciones hidrológicas extremas), si hay múltiples días en el año hidrológico con el mismo valor de caudal, se registra la fecha más temprana.
- Para el grupo de parámetros 4 (pulsos altos y bajos), se clasifica un día como pulso si es mayor o menor que un umbral especificado. En el caso del análisis de dos períodos, los umbrales de pulsos se calculan usando datos de todo el período.
- Las inversiones (en el grupo de parámetros 5) se calculan dividiendo el registro hidrológico en períodos de “crecimiento” y “decrecimiento”, que corresponden a períodos en los cuales los cambios diarios en los caudales son positivos o negativos, respectivamente. El número de inversiones es el número de veces que el caudal cambia de un tipo de período al otro. Las inversiones se analizan por año hidrológico, y por lo tanto el primer cambio de caudal del año hidrológico no puede contarse como inversión, dado que no existe una tendencia de crecimiento o decrecimiento antes del mismo.

Los parámetros IHA se dividen en 5 grupos que se especifican y se presentan en la siguiente Tabla:

Magnitud del caudal a escala mensual

Parámetro hidrológico	Influencias en el ecosistema
Caudal medio mensual	<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidad de hábitat para los organismos acuáticos. • Humedad del suelo para las comunidades vegetales de ribera. • Disponibilidad de agua para los organismos terrestres. • Disponibilidad de alimentos para mamíferos. • Acceso de los depredadores a las áreas de freza.
<i>Subtotal 12 parámetros</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Influencias sobre la temperatura del agua, los niveles de oxígeno y la fotosíntesis en la columna de agua.

Magnitud y duración de las condiciones extremas del caudal a escala anual

Parámetro hidrológico	Influencias en el ecosistema
Mínimo anual, media de 1 día. Mínimo anual, medias de 3 días. Mínimo anual, medias de 7 días. Mínimo anual, medias de 30 días. Mínimo anual, medias de 90 días. Máximo anual, media d'1 día. Máximo anual, medias de 3 días. Máximo anual, medias de 7 días. Máximo anual, medias de 30 días. Máximo anual, medias de 90 días. Número de días sin caudal. Caudal basal: mínimo de 7 días / caudal medio anual. <i>Subtotal 12 parámetros</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Balance de competitividad entre organismos oportunistas y organismos especializados. • Creación de espacios para la colonización de vegetales terrestres. • Estructuración del ecosistema acuático por factores abióticos versus factores bióticos. • Estructuración de la morfología del canal fluvial y de las condiciones físicas del hábitat. • Estrés hídrico en los vegetales de ribera. • Deshidratación en organismos terrestres. • Estrés anaeróbico en vegetales de ribera. • Cantidad de nutrientes intercambiables entre ríos y llanuras aluviales. • Duración de las condiciones estresantes como bajas concentraciones de oxígeno y contaminantes químicos orgánicos para los organismos acuáticos. • Distribución de las comunidades vegetales en la llanura aluvial, brazos abandonados y pozas adyacentes al curso fluvial. • Duración de los caudales elevados para disposición de residuos y para regeneración de sedimentos del cauce.



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

Temporalidad de las condiciones extremas del caudal a escala anual

Parámetro hidrológico	Influencias en el ecosistema
Día Juliano del mínimo diario del año.	• Compatibilidad de los ciclos de vida con los organismos.
Día Juliano del máximo diario del año.	• Predictibilidad del estrés para los organismos.
	• Acceso a hábitats especiales durante la reproducción o para evitar la depredación.
Subtotal 12 parámetros	• Zonas de freza para peces migradores.
	• Evolución de las estrategias de vida y de las pautas de comportamiento.

Frecuencia y duración de los pulsos de caudal elevado y bajo

Parámetro hidrológico	Influencias en el ecosistema
Número de pulsos de caudal bajo por año.	• Frecuencia y magnitud de las condiciones de estrés hídrico para los vegetales de ribera.
Número medio de días de duración de los pulsos de caudal bajo.	• Frecuencia y duración del estrés anaeróbico para los vegetales de ribera.
	• Disponibilidad de hábitat en la llanura aluvial para los organismos acuáticos.
Número de pulsos de caudal elevado por año.	• Intercambios de nutrientes y de materia orgánica entre el río y la llanura aluvial.
	• Disponibilidad de minerales del suelo.
Número medio de días de duración de los pulsos de caudal elevado.	• Acceso de las aves acuáticas a zonas de alimentación, descanso i reproducción.
	Influencias en el transporte de materiales del cauce, en la textura de los sedimentos del canal y en la perturbación por movilidad de sustrato durante los pulsos de caudal elevado.
Subtotal 4 parámetros	

Tasa y frecuencia de los cambios en las condiciones del caudal de agua.

Parámetro hidrológico	Influencias en el ecosistema
Tasas de cambio negativo: media de todas las diferencias negativas entre días consecutivos.	• Estrés hídrico en vegetales de ribera.
Tasas de cambio positivo: media de todas las diferencias positivas entre días consecutivos.	• Aislamiento de los organismos en islas o en la llanura aluvial.
Número de puntos de inflexión hidrológicos	• Estrés de deshidratación en los organismos de la zona limítrofe entre ecosistema fluvial y terrestre.
Subtotal 3 parámetros	
Total 33 parámetros	

Tabla 46. Resumen de los parámetros IHA y sus influencias en el ecosistema (Fuente: Protocolo para la valoración de la calidad hidromorfológica de los ríos, Agencia Catalana del Agua, 2006)

7.2.2.2. ANÁLISIS DEL RANGO DE VARIABILIDAD (RVA)

En el caso del presente estudio basado en comparar dos archivos de datos hidrológicos el software IHA permite implementar el Análisis del Rango de Variabilidad (RVA) descrito en Richter et al. (1997).

RVA usa como referencia la variación natural de los valores de los parámetros IHA anterior al desarrollo para definir el alcance de las alteraciones a los regímenes naturales de caudales. La variación anterior al desarrollo también puede usarse como base para definir las metas iniciales de caudal ecológico. Richter et al. (1997) sugieren que los encargados del manejo del agua deben esforzarse por mantener la distribución de los valores anuales de los parámetros IHA tan cercanos a las distribuciones anteriores al impacto o de régimen natural como sea posible. El análisis RVA también genera una serie de factores de alteración hidrológica que cuantifica el grado de alteración de los 33 parámetros de caudal IHA. Por lo tanto, este análisis sólo puede aplicarse a los parámetros IHA y no a los parámetros EFC.



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

En el análisis RVA, la gama completa de datos anteriores al impacto para cada parámetro se divide en tres categorías diferentes. Estas categorías quedan definidas en base a percentiles (en análisis no paramétrico) o en un número de desviaciones estándar desde la media (análisis paramétrico). Posteriormente el programa calcula la **frecuencia esperada** con la cual los valores “posteriores al impacto” o de régimen alterado de los parámetros de IHA deberían caer dentro de cada categoría; seguidamente calcula la **frecuencia observada** de esos valores y en qué categoría se encuentran en realidad. La alteración hidrológica queda definida de la siguiente manera:

$$\frac{\text{frecuencia esperada} - \text{frecuencia observada}}{\text{frecuencia esperada}}$$

*Ecuación 1. Alteración hidrológica calculada a través del método RVA.
(Fuente: Manual de usuario de IHA 7.1)*

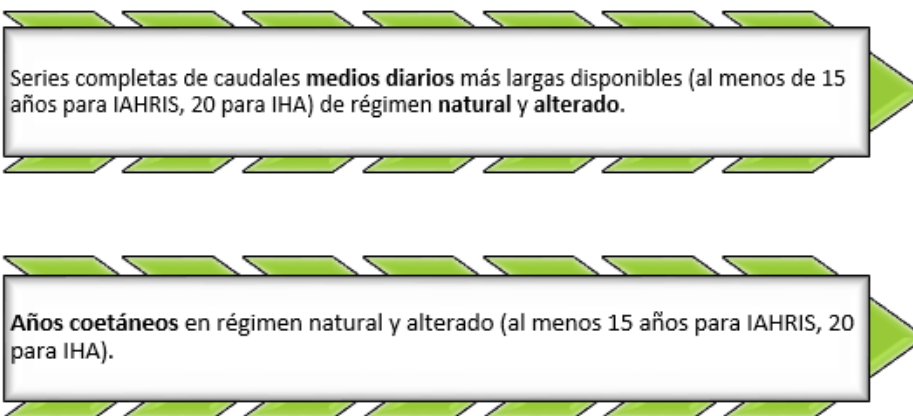
Una vez determinados los parámetros hidrológicos (IHA) más afectados por la regulación, se podrá proceder al diseño del plan de medidas y al desarrollo del protocolo del RVA.

7.2.2.3. CURVAS DE DURACIÓN DE CAUDALES (FDC)

IHA 7.1 calcula curvas de duración de caudales de forma separada para cada archivo de datos hidrológicos, de forma similar a IAHRIS.

7.3. DATOS NECESARIOS

Los datos necesarios para alcanzar estos objetivos son los requeridos por los software de Índices de Alteración Hidrológica que se emplearán y que quedarán descritos posteriormente.



*Figura 56. Datos necesarios para la consecución de objetivos del Estudio.
(Fuente: elaboración propia)*

7.4. DATOS DISPONIBLES

Todos los datos del presente trabajo se han obtenido a partir de los registros de caudales diarios en estaciones de aforo, tomado de la versión digital del Anuario de Aforos (CEDEX, 2010-2011).

Se han considerado dos estaciones de aforos y una de embalses: 2144 y 2099 (aforos) y 2034 (embalses). En el Anexo VIII denominado *ESTACIONES DE AFORO Y DE EMBALSES* en formato electrónico se localizan las fichas del MAGRAMA a partir de las cuales se han extraído los datos necesarios para llevar a cabo el Estudio.



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO Esla

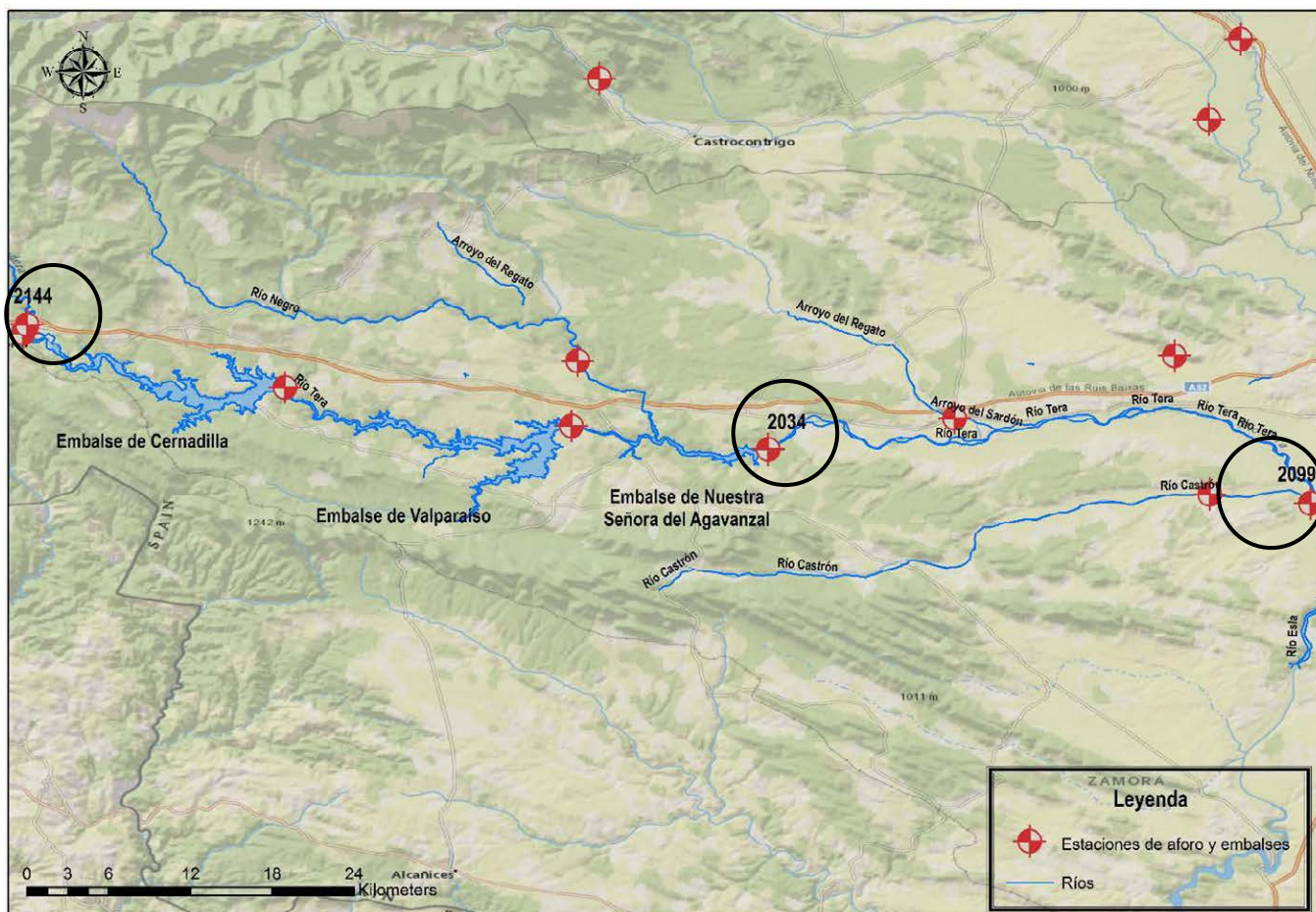


Figura 57. Mapa de estaciones de aforos y embalses presentes en la zona
(Fuente: Elaboración propia)

Para el estudio de la caracterización hidrológica es necesario disponer de unos datos iniciales considerados naturales (que se corresponderán con el inicio de cada tramo a estudiar) y otros alterados (fijados como el final del tramo analizado), ya que son tomados por defecto por los software empleados.

Por lo tanto, a pesar de que aguas arriba de la estación 2144 se encuentran pequeñas presas y otras presiones que sugieren que el régimen en este punto no sea estrictamente natural, se considerará natural con el propósito de adaptar la terminología a los software utilizados.

Lo mismo ocurre con los caudales recogidos en la estación 2034, utilizada como régimen alterado para el primer tramo (final del primer tramo) y como natural en el segundo (inicio del segundo tramo). En este caso la alteración es mucho mayor ya que aguas arriba se encuentra con el primer tramo constituido por el sistema de embalses

RÉGIMEN NATURAL = INICIO DEL TRAMO

RÉGIMEN ALTERADO = FINAL DEL TRAMO

La estación **2144**, como bien puede observarse en la Figura 57, se localiza en Puebla de Sanabria. Esta estación recibe el nombre de Río Tera en Cernadilla, y se encuentra aguas arriba del sistema a analizar.

La estación posterior siguiendo el curso fluvial es la **2034** que, al contrario que la anterior, se trata de la estación de embalse de Nuestra señora del Agavanzal. Por tanto se localiza en la finalización de este embalse.



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

La estación **2099** se encuentra unos metros antes de la confluencia con el Esla, concretamente en la confluencia del río Castrón con el Tera. Esta estación de aforos es conocida como Río Tera en Mozar de Valverde.

El estudio, en base a los datos de los que se dispone, que se va a llevar a cabo será el siguiente:

1. **Estudio hidrológico del sistema de embalses (Tramo 1-2).** Este tramo comprende desde la cola del embalse de Cernadilla hasta la salida por el embalse de Nuestra Señora del Agavanzal. El objetivo principal del estudio es evaluar la alteración hidrológica conjunta del sistema de embalses, para ello se toma como régimen natural el entrante por cola de embalse corregido en el punto 2 y como alterado el vertido en el punto 2.
2. **Estudio hidrológico del embalse de Nuestra Señora del Agavanzal a la confluencia con el Esla (zona de mayor superficie de cultivos) (Tramo 2-3).** Es el tramo que comprende desde la presa de Nuestra Señora del Agavanzal hasta la confluencia del río Tera con el Esla. El objetivo de este estudio es evaluar la alteración producida por las zonas de cultivo adyacentes al río, tomándose como régimen natural el saliente del punto 2 y corregido en el punto 3 y como alterado el vertido en el punto 3.

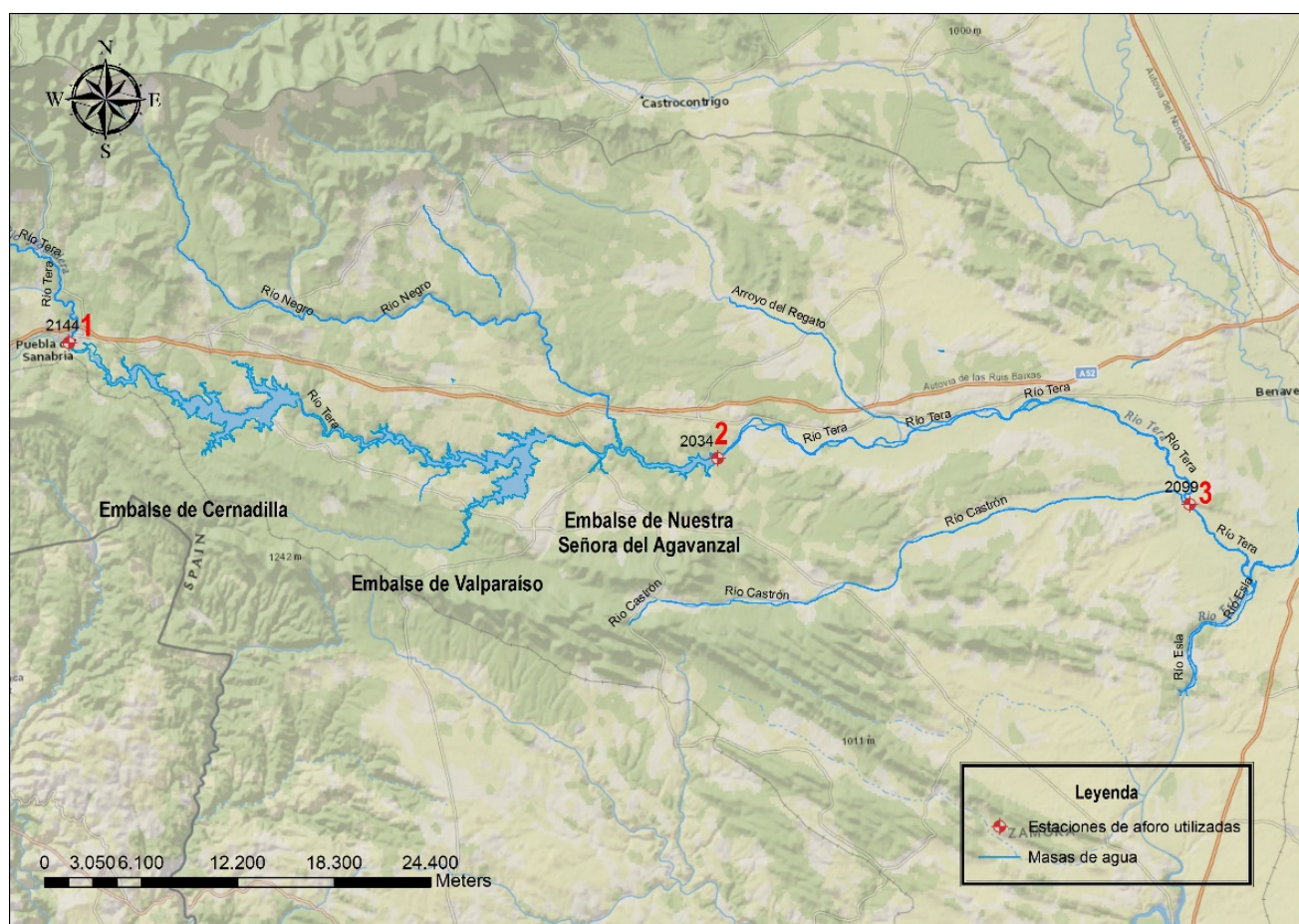


Figura 58. Mapa de puntos que establecen los análisis objeto de este estudio
(Fuente: Elaboración propia)

Han surgido dos principales limitaciones de los datos:

1. Los datos considerados de régimen natural han sido obtenidos de un punto de registro concreto, en este caso la estación de embalse 2144. Debido a ello, **estos caudales no tienen en cuenta las aportaciones directas en ese tramo**. Resulta necesario, por tanto, estimar el caudal del régimen natural que tendría lugar en la cuenca del punto 1 al punto 2. Lo mismo sucede con el segundo

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

análisis, punto 2 al 3, con los datos de la estación 2034. Es transformación de datos puede verse corroborada al visualizar e interpretar: esorrentía, pluviometría y grupos hidrológicos de la cuenca.

2. Los **datos no se corresponden con registros horarios**. El uso hidroeléctrico de los embalses no muestra clara alteración ya que se están tratando datos medios diarios, si se analizaran datos horarios se podría conocer con mayor exactitud los saltos de caudal.

7.4.1. MODELO DE CORRECCIÓN

El estudio de la alteración del régimen de caudales requiere conocer los caudales o aportaciones naturales, pero no únicamente aquellas que se localicen en un punto, sino teniendo en cuenta la cuenca de recepción que se acumula en tal punto: es necesario vincular la superficie y la esorrentía (entendida como caudal específico). Es esencial, por tanto, elaborar un modelo que corrija los datos obtenidos de los puntos de aforo mencionados.

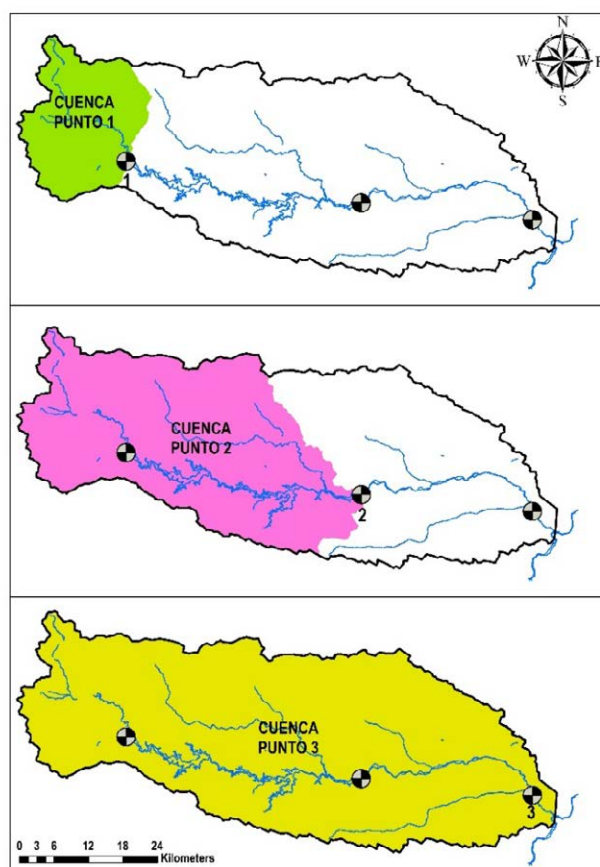


Figura 59. Mapa de localización de las diferentes cuencas vertientes para cada punto de análisis (Fuente: Elaboración propia)

Como se puede observar en la Figura 58, los diferentes puntos forman las unidades de análisis

(tramo 1-2 y tramo 2-3), de manera que resulta imprescindible conocer para cada punto, la cuenca que vierte en él (conocidas como subcuencas). Sólo de esta forma se puede conocer el caudal entendido como régimen natural. Se debe establecer entonces un modelo que transforme los datos que se obtienen de cada estación de aforos (puntos 1, 2 y 3) en base al caudal específico (aportación anual por unidad de superficie) y la superficie de la subcuenca.

Este modelo de corrección debe basarse en: la esorrentía (considerada en este caso caudal específico) y la superficie de cada subcuenca (en la Figura 58: verde la subcuenca para del punto 1, rosa la del punto 2 y la cuenca entera del río Tera para el punto 3). Con el fin de realizar la transformación de dichos datos se plantea un coeficiente corrector de cuenca. Para calcular tal coeficiente se ha planteado el empleo de la esorrentía y de la superficie de drenaje:

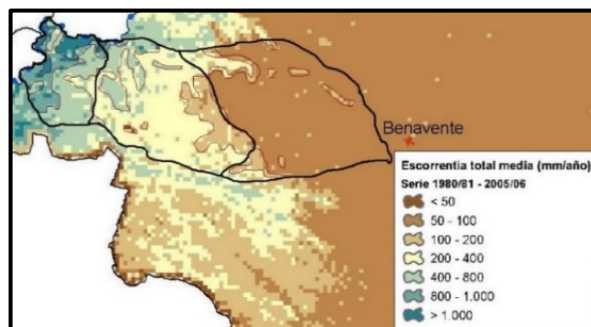
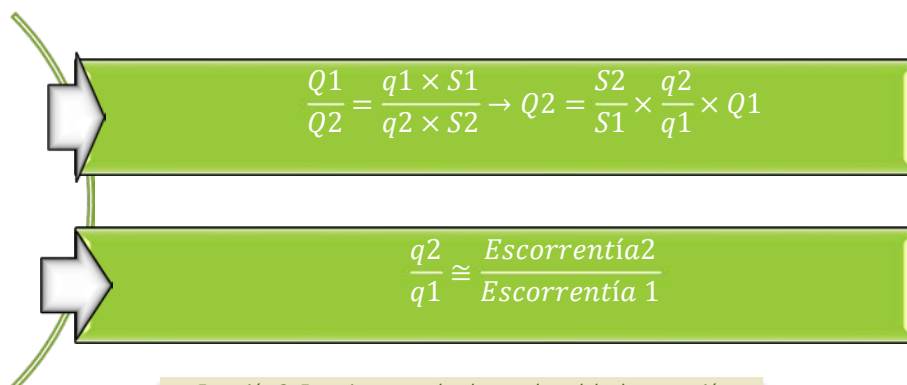


Figura 60. Mapa de esorrentía total media en la cuenca del Tera (Fuente: CHDuero; Elaboración propia)

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO Esla

7.4.1.1. METODOLOGÍA

El modelo de corrección se basa en dos principios:


$$\frac{Q1}{Q2} = \frac{q1 \times S1}{q2 \times S2} \rightarrow Q2 = \frac{S2}{S1} \times \frac{q2}{q1} \times Q1$$
$$\frac{q2}{q1} \cong \frac{Escorrentía2}{Escorrentía1}$$

*Ecuación 2. Ecuaciones empleadas en el modelo de corrección
(Fuente: Elaboración propia)*

Donde:

$Q1$ y $Q2$: caudal registrado en los puntos 1 y 2, respectivamente (conocido como régimen natural en ese punto) (m^3/s).

$q1$ y $q2$: caudal específico de la cuenca que drena en los puntos 1 y 2, respectivamente (en términos de régimen ambiental) (hm^3/km^2).

$S1$ y $S2$: superficie de la cuenca (conocidas como subcuencas) que drena en los puntos 1 y 2, respectivamente (km^2).

Mediante tales principios, es posible conocer el factor corrector de caudal de las diferentes subcuencas (superficies de los puntos 1, 2 y 3 a la cabecera) según la superficie de estas y su escorrentía media.

$$Q2 = \frac{S2}{S1} \times \frac{Escorretía\ 2}{Escorrentía\ 1} \times Q1$$

Ecuación 3. Fórmula de transformación de datos del caudal 2 (Fuente: Elaboración propia)

El cálculo del caudal de régimen natural se halla tanto entre el tramo 1-2 como entre el 2-3, de manera que la fórmula para este último se expresaría de la siguiente manera:

$$Q3 = \frac{S3}{S2} \times \frac{Escorretía\ 3}{Escorrentía\ 2} \times Q2$$

*Ecuación 4. Fórmula de transformación de datos del caudal 3
(Fuente: Elaboración propia)*

7.4.1.2. CÁLCULO DE LA ESCORRENTÍA

La escorrentía es valorada como la escorrentía media de cada cuenca que drena en los distintos puntos. Como base para conocer la escorrentía media de cada subcuenca se toma el Mapa de Escorrentía Anual Total (serie corta) de la Confederación Hidrográfica del Duero. A través de ese mapa se trazan isolíneas de escorrentía, a partir de estas resulta viable el cálculo de la escorrentía media en cada subcuenca.



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

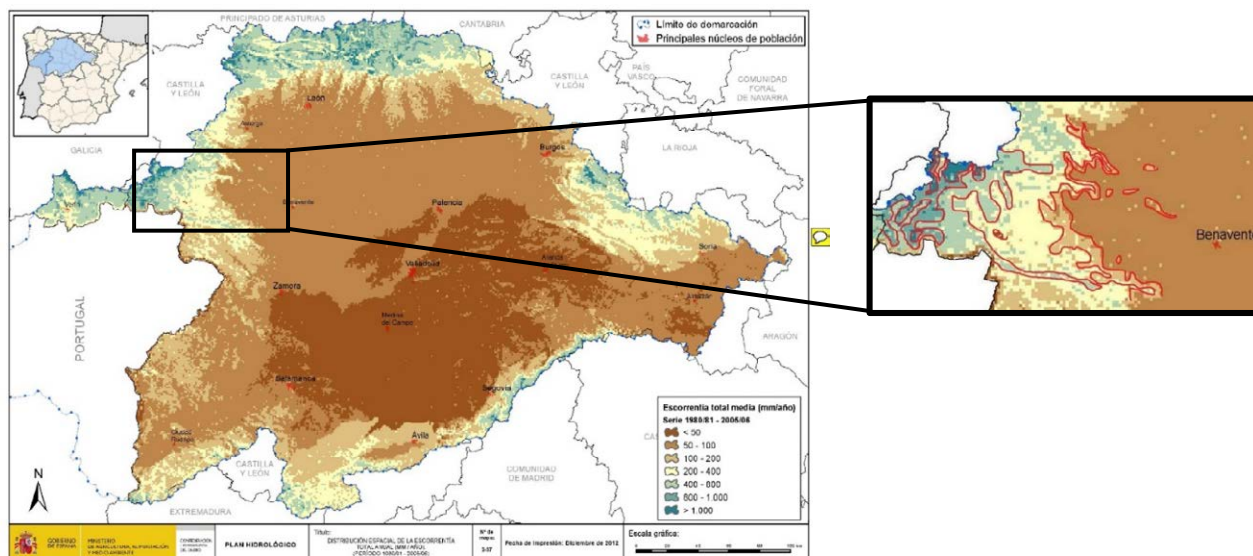


Figura 61. Mapa de isolíneas de escorrentía (Fuente: CHDuro; Elaboración propia)

Conociendo la distribución de la escorrentía (Mapa de Escorrentía en la cuenca del río Tera) y las subcuencas (Figura 62) se calcula la escorrentía media para cada una de dichas cuencas vertientes. Una vez calculada la escorrentía media de cada subcuenca y conociendo la superficie de estas, se aplica la fórmula final del factor de corrección descrita en la metodología del modelo.

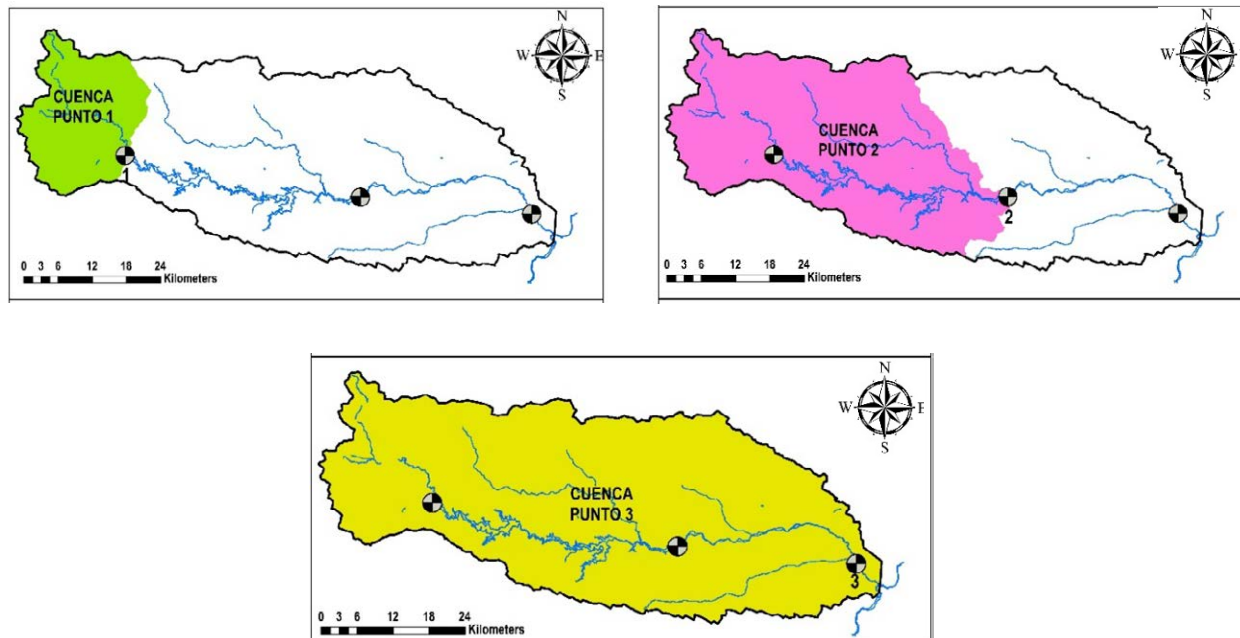


Figura 62. Mapas de las subcuencas (Fuente: Elaboración propia)

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO Esla

Previamente a realizar los cálculos, se percibe que las zonas de cabecera tendrán mayores escorrentías (en torno a 800 mm/año) que las zonas intermedias y bajas (intervalos de 200 a 400 mm/año).

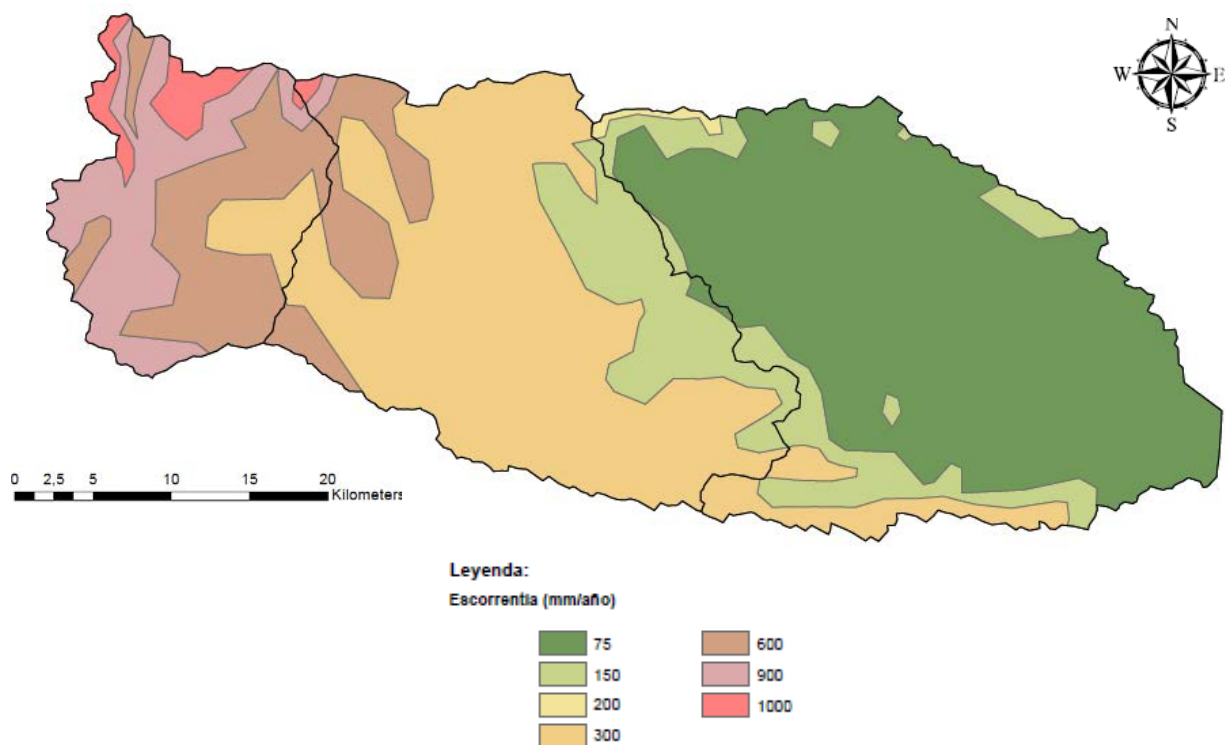


Figura 63. Mapa de Escoorrentía en la cuenca del río Tera (Fuente: Elaboración propia)

7.4.1.3. FACTORES CONDICIONANTES DE LA ESCORRENTÍA

La escorrentía depende básicamente de la pluviometría, la geología y la vegetación de la zona. De manera que resulta imprescindible conocer estos factores en la cuenca del Tera para definir la naturaleza de la escorrentía.

7.4.1.3.1. Pluviometría

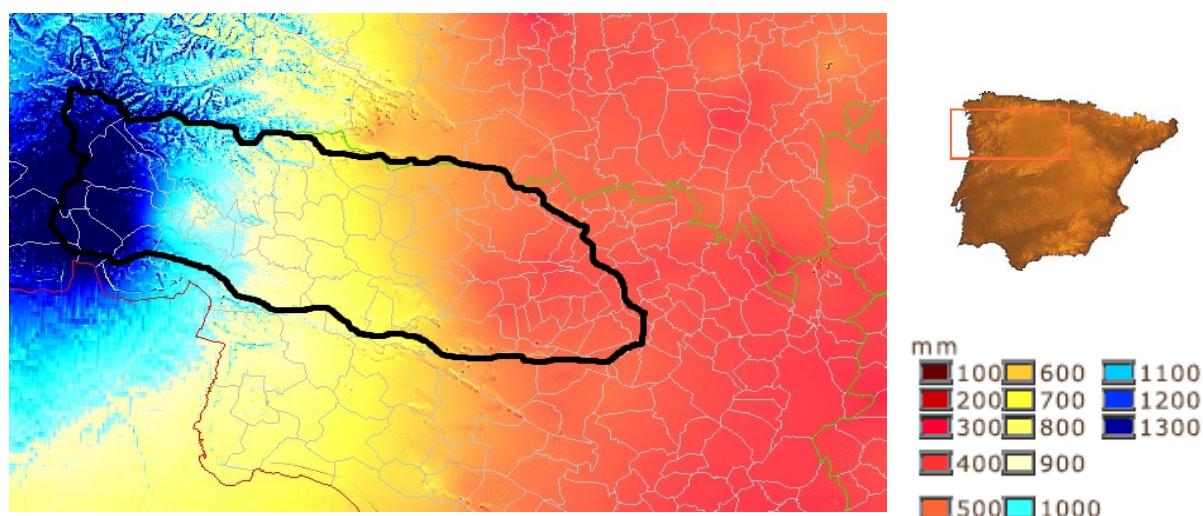


Figura 64. Mapa de pluviometría anual para la cuenca del río Tera (Fuente: Atlas climático Digital de la Península Ibérica)

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

La pluviometría de la zona indica que en zonas de cabecera se producirán elevadas precipitaciones (en torno a 1200 o 1300 mm anuales), mientras que en zonas intermedias y bajas de la cuenca el rango de precipitaciones es menor: de 800 a 500 mm/año. Es posible relacionar este dato con el modelo anterior, ya que las escorrentías presentadas en cabecera son elevadas con respecto a las zonas intermedias y bajas, en cuanto a las precipitaciones, sucede de forma similar. Esto quiere decir que, y como anteriormente se ha concluido, en las zonas de cabecera las aportaciones y las escorrentías serán mayores, aunque es necesario contar con el factor geología (junto con los grupos hidrológicos) para confirmarlo.

7.4.1.3.2. Geología

Un elemento más que corrobora este coeficiente que, aunque no sea de forma estrictamente cuantitativa, respalda el resultado de dicha transformación es la geología, más concretamente los grupos hidrológicos que componen la zona.

La metodología a seguir para conocer estos grupos hidrológicos consiste en el empleo del Mapa de Suelos de España, la clasificación FAO y los materiales geológicos presentes en la cuenca. Estos aspectos definirán el grupo hidrológico de una determinada área.

En primer lugar, resulta imprescindible llevar a cabo una clasificación de los materiales geológicos en:

1. Materiales consistentes o coherentes.
2. Materiales débilmente consistentes.
3. Materiales sueltos o incoherentes.

La Tabla 47 muestra los materiales clasificados en los grupos que se han mencionado previamente, además añade un ejemplo de cómo se realizaría la clasificación de suelos (en base a FAO-UNESCO) y, consecuentemente, de grupos hidrológicos:

CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES GEOLÓGICOS SEGÚN SU CONSISTENCIA		GRUPO DE SUELO-WRB (FAO-UNESCO)		GRUPO HIDROLÓGICO
MATERIALES CONSISTENTES O COHERENTES	Cuarcitas	LEPTOSOL	AR o (A)R	D
	Filones de cuarzo	LEPTOSOL	AR	D
	Gneises	LEPTOSOL	AR o (A)R	D
	Metagrauvacas	LEPTOSOL	AR o (A)R	D
	Pizarras y cuarcitas	LEPTOSOL	AR o (A)R	D
	Rocas graníticas	LEPTOSOL	AR o (A)R	D
MATERIALES DÉBILMENTE CONSISTENTES	Conglomerados	LUVISOL	AB _t C	C
	Filitas y esquistos	LEPTOSOL	AR o (A)R	D
MATERIALES SUELTOS O INCOHERENTES	Conglomerados, arenas, areniscas y arcillas	CAMBISOL	A(B)C	B
	Conglomerados, limos y arcillas	CAMBISOL	A(B)C	B
	Aluviones	FLUVISOL	AB _t C	B
	Coluviones	ACRISOL	AB _t C	C
	Conos de deyección	REGOSOL	AC o (A)C	B
	Depósitos glaciares, morrenas	LUVISOL	AB _t C	C
	Eluviones	REGOSOL	AC o (A)C	B
	Rañas	CAMBISOL	A(B)C	B
	Indiferenciado	LUVISOL	AB _t C	C
	Terrazas	LUVISOL	AB _t C	C

Tabla 47. Tabla de clasificación de materiales geológicos en base a su consistencia, y sus correspondientes grupos de suelos de FAO-UNESCO y Grupos Hidrológicos (Fuente: Elaboración propia)



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

A modo genérico, los grupos de suelo y el hidrológico se fijan en esta tabla como ejemplo. Estos aspectos pueden variar según la zona de la cuenca en la que se encuentren. Estos han sido tomados aleatoriamente con fines ejemplificativos, como se ha comentado anteriormente.

Una vez clasificadas todas las zonas, visualizando el mapa resultante de grupos hidrológicos (disponible en Anejo I de MAPAS), se conoce que zonas de cabecera son aquellas de suelos leptosol y de grupo hidrológico D (materiales coherentes en la cima de montañas o cercana a ellas). En cuanto a zonas intermedias y de tramos finales de la cuenca, se diferencian en grupo hidrológico B y C. El grupo hidrológico B, como se puede observar en el mapa, se corresponde en gran parte a suelos fluvisol que son típicos de áreas inundables por el río o suelos cambisol (materiales coherentes en pie de ladera o materiales incoherentes); en cuanto al grupo C en su mayoría se trata de suelos luvisol, con materiales coherentes a pie de monte.

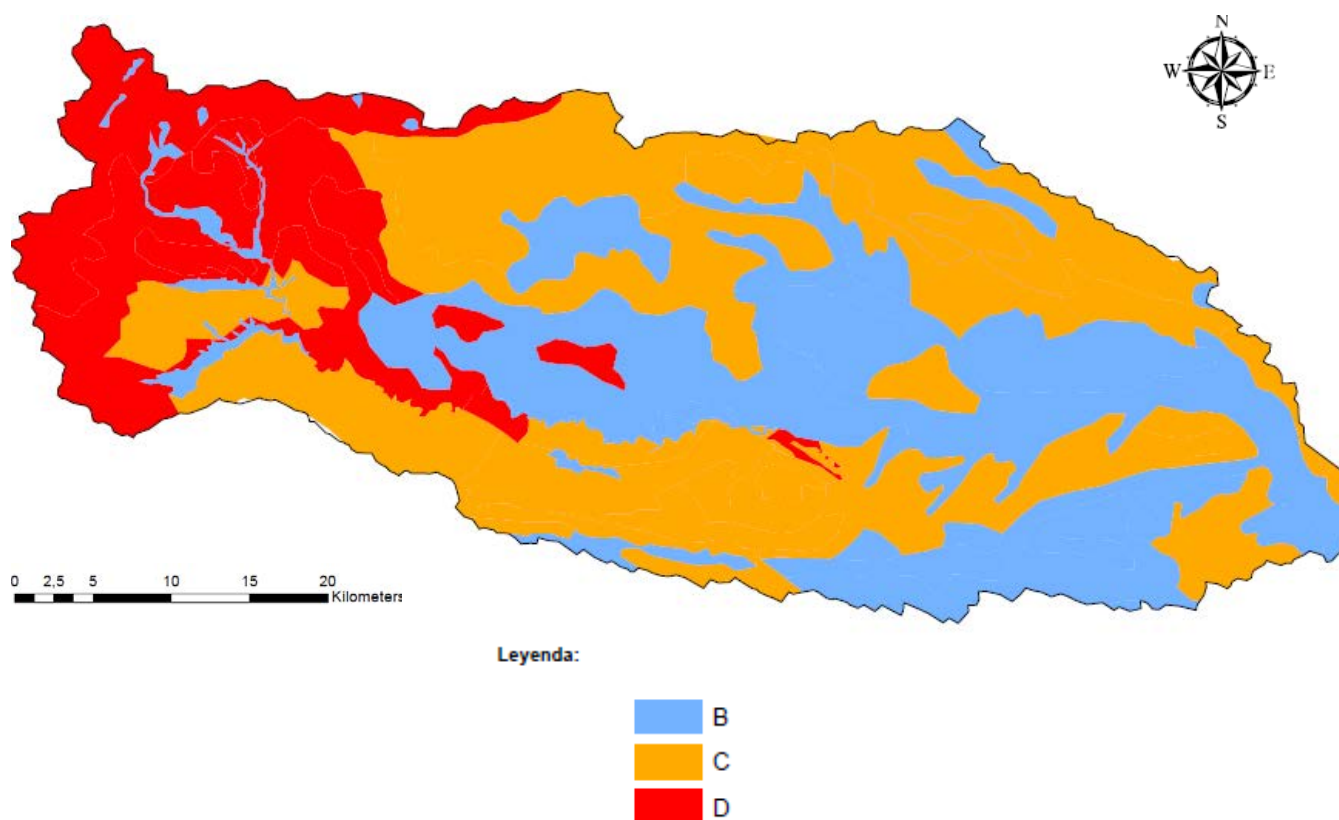


Figura 65. Mapa de Grupos Hidrológicos en la cuenca del río Tera
(Fuente: Elaboración propia)

Esta clasificación, los grupos hidrológicos que se distribuyen en la cuenca, explican y corroboran la transformación de datos según un coeficiente corrector. Se puede observar que la zona de cabecera se caracterizará por una mayor escorrentía y, por lo tanto, los datos de caudal serán mayores en esta superficie que en el resto de la cuenca. No es posible que los datos obtenidos de la estación de aforos 2144 equivalgan para todas las zonas de la cuenca, es necesario tener en cuenta las aportaciones de tributarios.

7.4.1.3.3. Vegetación

La vegetación de la zona se encuentra expuesta en el Apartado *Vegetación* en la Caracterización General de la Zona de Estudio.

7.4.1.4. RESULTADOS DEL MODELO

La estación de aforo 2144 se encuentra en el punto 1, anteriormente visualizado.

La escorrentía media de la cuenca que drena en el punto 1 se corresponde con 729,64 mm/año, mientras que la de la cuenca que drena en el punto 2 es de 443,74 mm/año.

Las superficies S1 y S2 son, respectivamente, 426,38 km² y 1342,32 km². Conociendo estos dos factores, se emplean las hipótesis previamente explicadas en la metodología de la transformación de datos:

$$Q2 = \frac{S2}{S1} \times \frac{\text{Escorretía } 2}{\text{Escorrentía } 1} \times Q1 = \frac{1342,32}{426,38} \times \frac{443,74}{729,64} \times Q1$$

$$Q2 = 1,91 \times Q1$$

Por lo tanto, el caudal en el punto 2 será aproximadamente el doble que en el punto 1. Los datos de caudales de la estación de aforo 2144 se verán modificados según este factor de corrección de 1,91, siendo estos datos Q1.

En relación al segundo tramo estudiado (del punto 2 al punto 3) se considera la estación de embalse 2034 como punto 2, en el cual se obtienen unos registros que, como ha quedado explicado con anterioridad, no tienen en cuenta todas las portaciones externas en toda la superficie de la subcuenca desde el tramo 2 al 3 (donde se encuentra la estación de aforo 2099).

La escorrentía media de la cuenca que drena en el punto 2 se corresponde con 443,74 mm/año, mientras que la de la cuenca que drena en el punto 3 es de 290,15 mm/año.

Las superficies S2 y S3 son, respectivamente, 1342,32 km² y 2427,22 km². De la misma forma que en el caso anterior se emplean las hipótesis establecidas en la metodología:

$$Q3 = \frac{S3}{S2} \times \frac{\text{Escorretía } 3}{\text{Escorrentía } 2} \times Q2 = \frac{2427,22}{1342,32} \times \frac{290,15}{443,74} \times Q2$$

$$Q3 = 1,18 \times Q2$$

En este caso, el caudal de régimen natural en el punto 3 será 1,18 veces el caudal registrado en el punto 2.

Los datos hidrológicos resultantes del modelo se recogen en formato digital en el Anexo IV denominado *DATOS HIDROLÓGICOS*.

8. CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN NATURAL DEL SISTEMA DE EMBALSES (TRAMO 1-2) DEL RÍO TERA

El río Tera discurre por la provincia de Zamora. Afluente del río Esla, que a su vez es afluente por la derecha del Duero. El tramo de este análisis se ubica desde el punto 1 (véase imagen derecha) hasta el 2. Este tramo se encuentra afectado por los embalses de Cernadilla, Valparaíso y Nuestra Señora del Agavanzal. Los principales afluentes que se encuentran en este tramo de río es el conocido río Negro.



Es muy probable que estas aguas subterráneas aporten agua al sistema fluvial del Tera y por ello en los meses de mayores sequías se pueden distinguir esas pequeñas aportaciones (no llegan a ser aportaciones nulas).

8.2. ASPECTOS ANALIZADOS

En la caracterización del régimen natural quedan analizados una serie de aspectos considerados trascendentales y significativos ambientalmente (Tabla 48).

CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN NATURAL DE CAUDALES			
ASPECTOS ANALIZADOS	1	Caracterización de valores habituales	Magnitud y variabilidad interanual
	2		Variabilidad intranual
	3		Variabilidad extrema
	4		Variabilidad en caudales diarios
	5		Estacionalidad
	6	Caracterización de avenidas	Magnitud y frecuencia
	7		Variabilidad
	8		Duración
	9		Estacionalidad
	10	Caracterización de sequías	Magnitud y frecuencia
	11		Variabilidad
	12		Duración
	13		Estacionalidad

Tabla 48. Aspectos analizados en la caracterización del régimen natural para el tramo 1-2. (Fuente: elaboración propia; Caracterización del régimen natural de caudales y evaluación de la alteración en los ríos Júcar y Cabriel, L. Carrero, J.A. Fernández, C. Martínez, 2009)

8.3. RESULTADOS OBTENIDOS

Con el fin de conseguir años coetáneos, se han realizado años medios. Se constituye por tanto el análisis en 15 años de registros diarios para las estaciones 2144 y 2034 (1995-2010), modificando estos datos según el modelo explicado con anterioridad en el apartado *DATOS DISPONIBLES. MODELO DE CORRECCIÓN*; en base a la superficie y la escurrimiento (caudal específico).

8.3.1. APORTACIONES ANUALES

El régimen natural de caudales se caracteriza por una acusada variabilidad interanual en cuanto a la magnitud de aportaciones anuales.

En la Figura 67 se puede apreciar con detalle la acusada variabilidad interanual del río Tera en el punto de estudio. Esta variabilidad es uno de los rasgos más determinantes de las características de los ecosistemas asociados al río. La pérdida de dicha variabilidad puede suponer la pérdida de una barrera frente a especies exóticas.

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

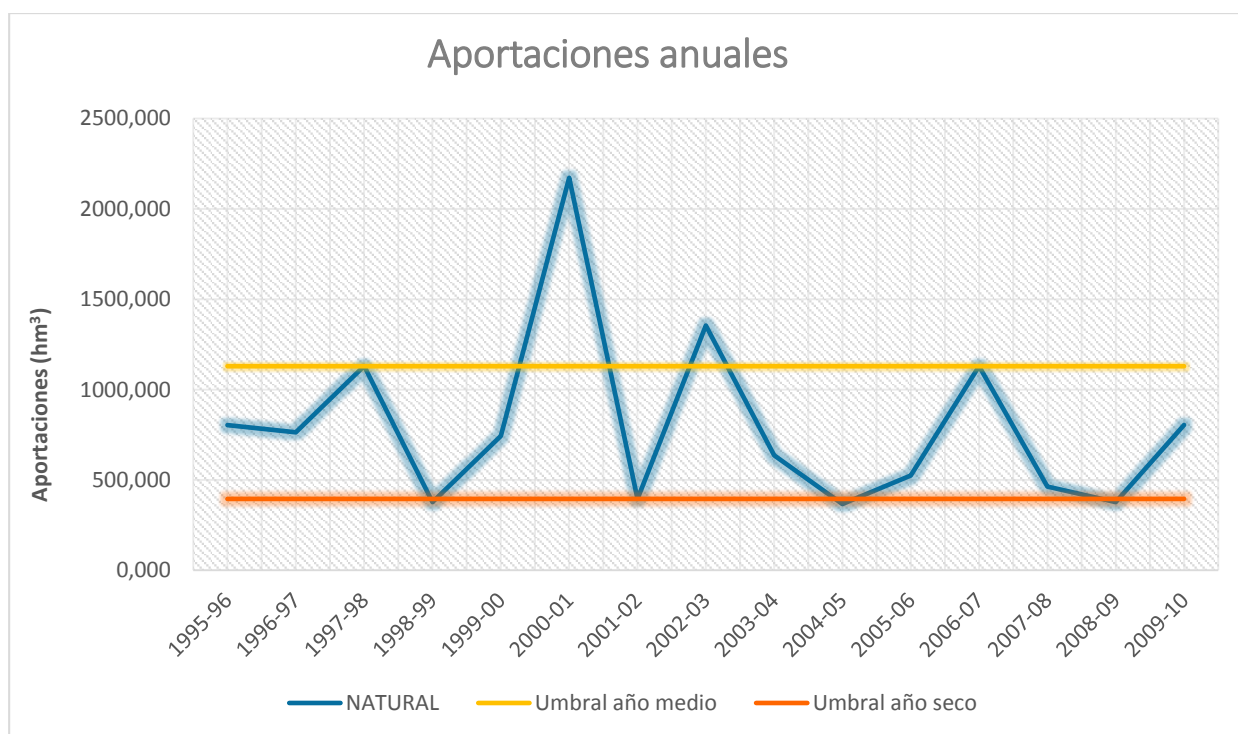


Figura 67. Aportaciones anuales en régimen natural entre 1995 y 2010 del tramo 1-2 (Fuente: Elaboración propia mediante informe nº1 de IAHRIS)

TIPOS DE AÑO PARA RÉGIMEN NATURAL					
HÚMEDOS		MEDIOS		SECOS	
AÑO	APORTACIÓN (hm³)	AÑO	APORTACIÓN (hm³)	AÑO	APORTACIÓN (hm³)
1997-98	1130,295	1995-96	803,293	1998-99	377,610
2000-01	2171,979	1996-97	763,646	2001-02	395,502
2002-03	1354,964	1999-00	742,864	2004-05	366,313
2006-07	1129,349	2003-04	636,245	2008-09	377,606
Media	1446,647	2005-06	524,420	Media	379,258
		2007-08	463,058		
		2009-10	804,081		
		Media	676,801		

Tabla 49. Años húmedos, medios y secos en régimen natural del tramo 1-2 (Fuente: informe nº1 de IAHRIS)

A partir de la Tabla 49 conocemos lo siguiente:

- 4 años húmedos (que superan la aportación anual superior a 1129,349 hm³).
- 7 años medios o normales (con una aportación anual entre 1129,349 y 395,502 hm³).
- 4 años secos (cuya aportación anual es inferior a 395,502 hm³).
- La máxima aportación es de 2171,979 hm³ en el año 2000 y la mínima de 366,313 hm³ en 2004.

Las aportaciones anuales no llevan asociada una función ambiental o geomorfológica específica, no obstante, son de gran interés desde el punto de vista ecológico ya que determinan la disponibilidad general de agua en el ecosistema (C. Martínez y J.A. Fernández, 2009).

8.3.2. APORTACIONES MENSUALES

El estudio de las aportaciones mensuales se ha realizado de modo independiente para cada tipo año, concluyendo como rasgos esenciales los que a continuación se exponen. El régimen natural, es un claro ejemplo de régimen pluvionival con dos máximos anuales, en invierno y primavera, que se aprecian claramente en los años más húmedos. En los años medios y secos se observa la gran dependencia del régimen de caudales de las precipitaciones, pues los niveles de caudal bajan considerablemente al disminuir las aportaciones de la cuenca. Este hecho se manifiesta en el verano de los años medios y muy especialmente en el de los secos.

TIPO DE AÑO MES	APORTACIONES MENSUALES (hm ³)		
	HÚMEDO	MEDIO	SECO
Octubre	110,838	39,377	7,046
Noviembre	170,021	81,791	9,676
Diciembre	276,948	132,372	18,881
Enero	212,374	94,462	31,208
Febrero	137,268	80,067	23,175
Marzo	165,693	69,552	37,603
Abril	169,415	89,832	37,117
Mayo	90,593	65,334	27,206
Junio	50,640	20,421	13,065
Julio	16,823	9,434	5,551
Agosto	9,259	7,314	3,218
Septiembre	14,739	9,101	5,672
Máximo	276,948	132,372	37,603
Media	118,718	58,255	18,285
Mínimo	9,259	7,314	3,218

Tabla 50. Aportaciones mensuales en régimen natural del tramo 1-2.
(Fuente: Elaboración propia mediante informe nº2 de IAHRIS)

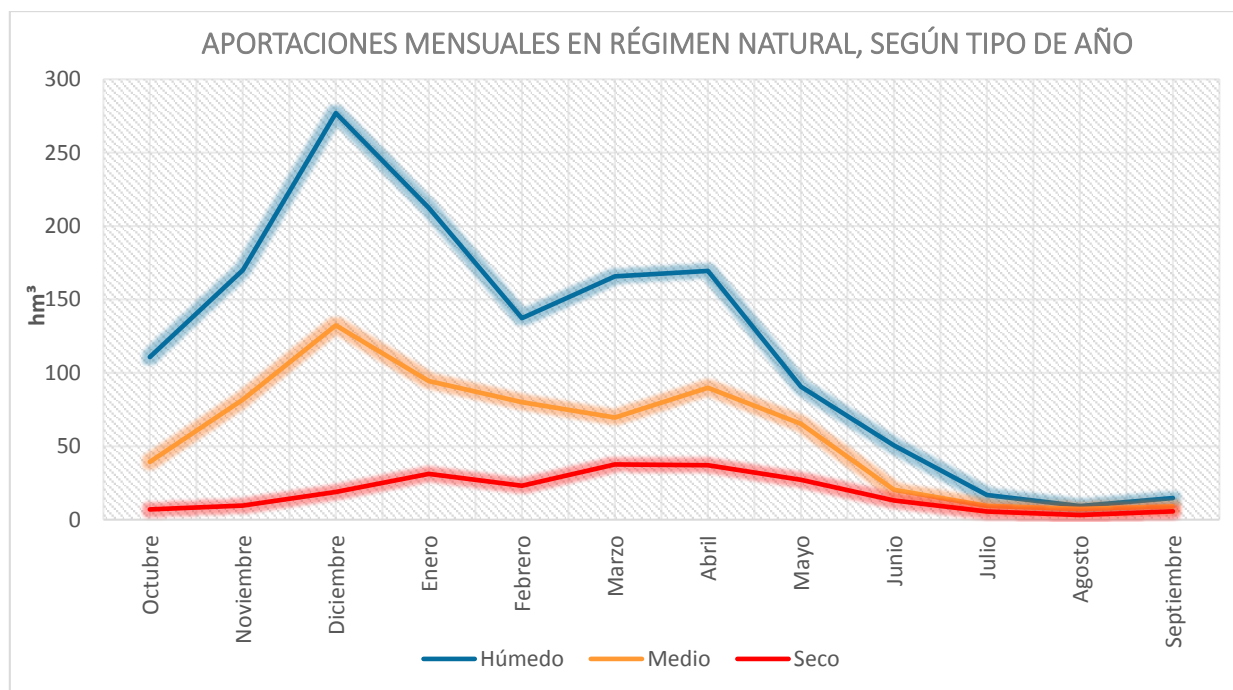


Figura 68. Aportaciones mensuales para cada año en régimen natural del tramo 1-2
(Fuente: Elaboración propia mediante informe nº2 de IAHRIS)

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

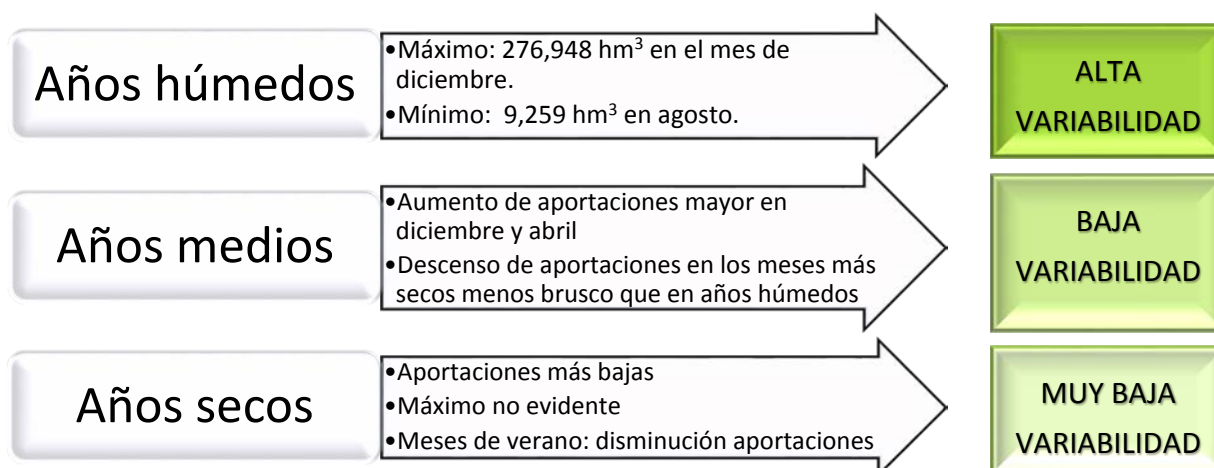


Figura 69. Aspectos más destacados de las aportaciones mensuales para los diferentes tipos de año de Itramo 1-2.
(Fuente: Elaboración propia)

Como se ha comentado con anterioridad, la **variabilidad** supone el eje conductor de la dinámica ecológica y geomorfológica del río, por lo que condiciona la heterogeneidad del hábitat y del medio hiporreico y su calidad, así como las características granulométricas del cauce y su estabilidad y la diversidad. En el caso de que se perturbe tal variabilidad, especies exóticas pueden introducirse en estos ecosistemas fluviales y expandirse.

En cuanto a la **variabilidad extrema**, queda determinada como la diferencia entre la máxima y la mínima aportación mensual en el año. Esta variabilidad es calculada para cada año tipo, con el resultado de un promedio para cada uno de los tipos.

VARIABILIDAD EXTREMA (hm ³)			
AÑO HÚMEDO	AÑO MEDIO	AÑO SECO	AÑO PONDERADO
267,689	125,058	34,385	138,047

Tabla 51. Valores de variabilidad máxima en régimen natural del tramo 1-2.
(Fuente: Elaboración propia)

Todos los datos estudiados y utilizados por IAHRIS se han catalogado en años húmedos, medios y secos: los valores del año ponderado se obtienen teniendo en cuenta el porcentaje de presencia de cada tipo de año en la serie: 25% para años húmedos y secos y 50% para los años medios.

Con el fin de caracterizar la **estacionalidad** de las aportaciones mensuales en este tramo del río Tera, se localiza el mes con la mayor y la menor aportación para cada tipo de año, como se muestra en la siguiente Figura:

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

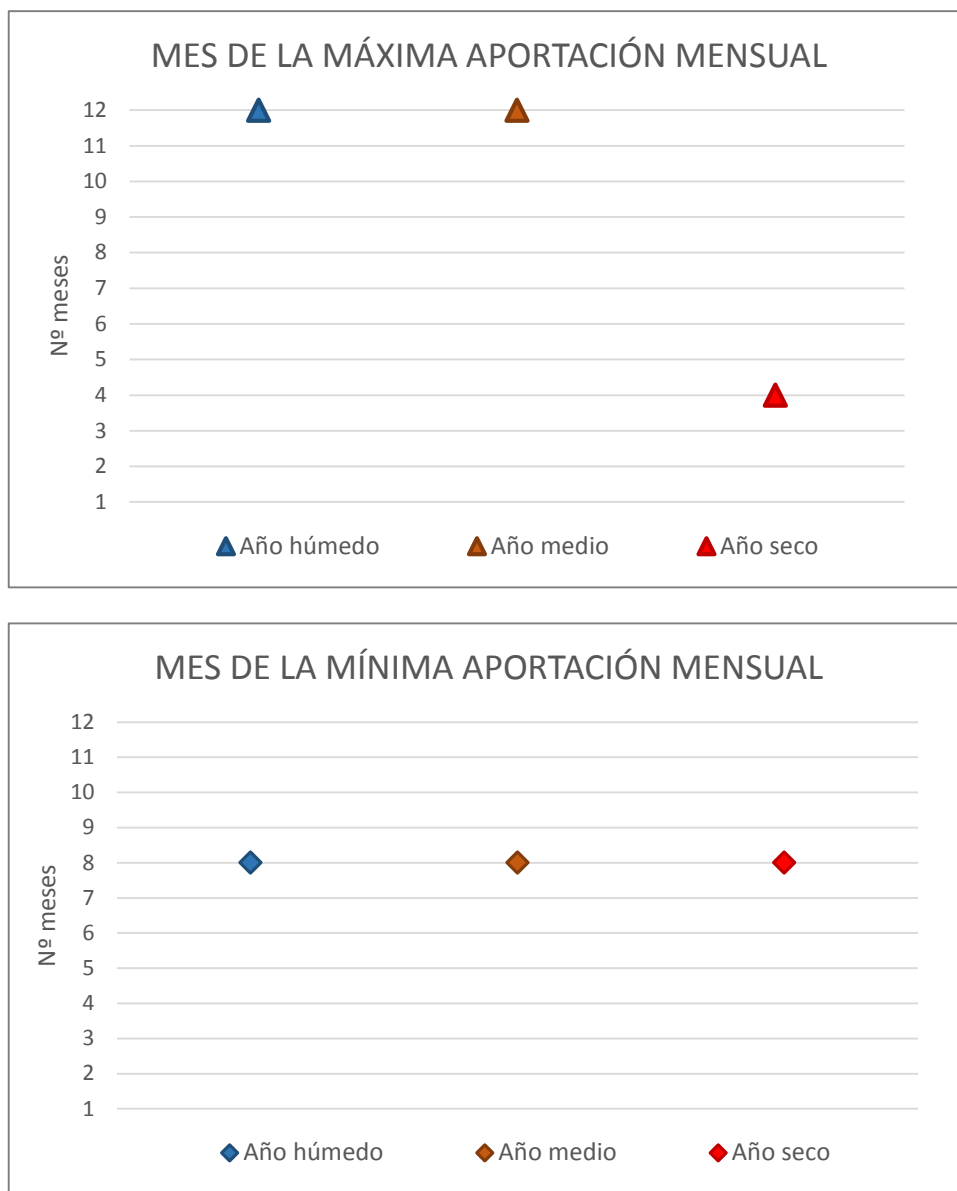


Figura 70. Estacionalidad de máximos y mínimos a escala mensual en el tramo del sistema de embalses del río Tera. (Fuente: Elaboración propia)

La estacionalidad de la máxima aportación anual tiene un amplio intervalo, desde diciembre hasta abril. Por el contrario, las aportaciones mínimas se mantienen constantes, únicamente en el mes de agosto para los tres tipos de años.

Esta variabilidad estacional es crucial para el mantenimiento de la diversidad temporal de los hábitats. En un río no regulado los caudales circulantes tienen pautas estacionales acompañadas con los ciclos vitales de la biota acuática y riparia e íntimamente ligados con el resto de variables ambientales (temperatura del agua, duración del día, etc.). La estacionalidad propicia además la sincronía con los tributarios, evitando desajustes morfológicos, y por último, la estacionalidad es un estímulo para la germinación y dispersión de numerosas especies (C. Martínez y J.A. Fernández, 2009).

8.3.3. CAUDALES DIARIOS CIRCULANTES

Los caudales diarios circulantes se estudian a través de la curva de caudales clasificados. Dicha curva relaciona la magnitud de los caudales circulantes con el porcentaje de tiempo al año en que ese caudal es igualado o superado. Constituyen por tanto una información hidrológica de gran interés al relacionar dos aspectos fundamentales del régimen hidrológico: magnitud y frecuencia.



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

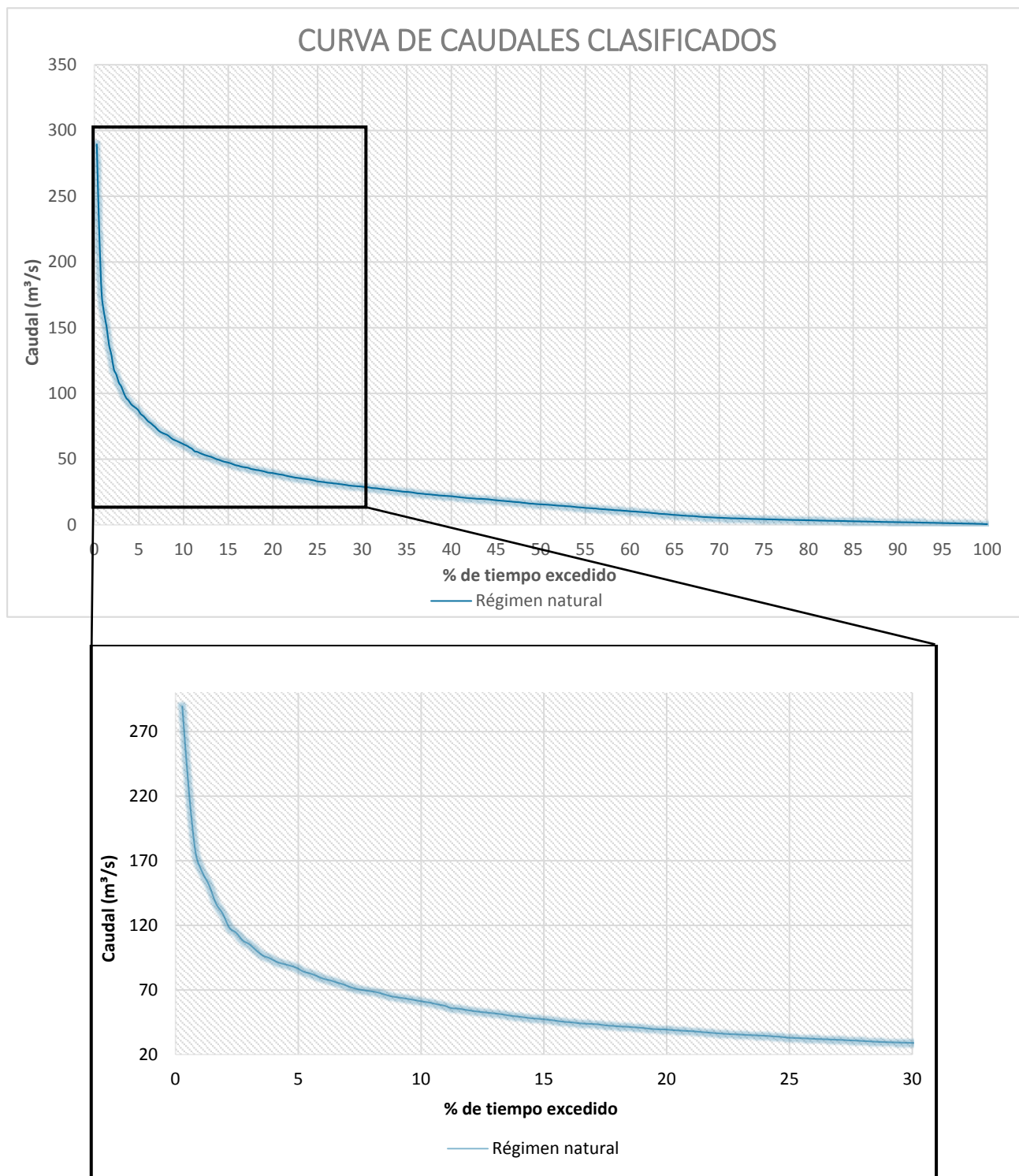


Figura 71. Curva de caudales clasificados en régimen natural del tramo 1-2. (Fuente: Elaboración propia mediante informe nº6 IAHRIS)

Esta curva proporciona información clave sobre el comportamiento hidrológico del río Tera en el tramo del sistema de embalses.

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

Nº DIAS EN LOS QUE EL CAUDAL ES EXCEDIDO	PERCENTIL DE EXCEDENCIA	CAUDAL (m ³ /s) REG. NATURAL
18	5	87,14
37	10	60,84
55	15	47,20
73	20	39,37
91	25	33,10
110	30	28,93
128	35	25,06
146	40	21,75
164	45	18,77
183	50	15,54
201	55	12,85
219	60	10,31
237	65	7,57
256	70	5,34
274	75	4,28
292	80	3,48
310	85	2,73
329	90	2,00
347	95	1,36
365	100	0,48

Tabla 52. Valores de la curva de caudales clasificados para el régimen natural del tramo 1-2.
(Fuente: Elaboración propia mediante informe nº6 de IAHRIS)

La caracterización de la variabilidad en los caudales diarios se realiza a partir de la curva de caudales clasificados, estimando el denominado **Rango de Variabilidad Habitual**. El percentil del 5% (Q_5) es el umbral que define las avenidas, por lo tanto, caudales de valor superior al Q_5 serán clasificadas como avenidas, en este caso toma el valor de 87,14 m³/s. Por otra parte, el percentil del 95% (Q_{95}) define el **umbral de los días secos**, así el valor que se encuentre por debajo de este, será clasificado como tal. En el tramo 1-2 del río Tera el valor de este umbral es de 1,36 m³/s.

CURVA DE CAUDALES CLASIFICADOS

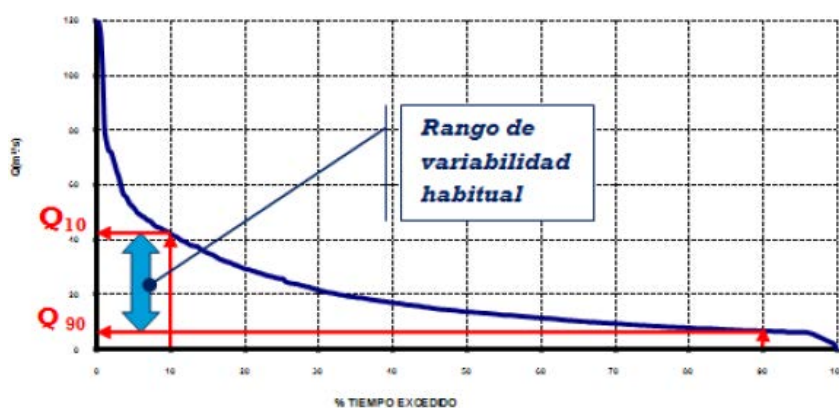


Figura 72. Estimación del Rango de Variabilidad Habitual a partir de las curvas de caudales clasificados.
(Fuente: C. Martínez, J.A. Fernández, 2010)

El resto del año, el resto de percentiles conforman el **Rango de Variabilidad Habitual** y se evalúa como la diferencia entre Q_{10} (valor de Q que es igualado o superado el 10% del año) y Q_{90} (valor de Q que es igualado o superado el 90% del año), ya que es en ese intervalo de valores en el que se mueven los caudales circulantes el 80% del año.



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

A través de la Tabla 53 se conoce que la acusada variabilidad habitual de los caudales diarios es, en consonancia con la curva, importante, ya que la variable utilizada para medir este aspecto ($Q_{10\%}$ - $Q_{90\%}$) supera el 95% del $Q_{10\%}$.

VARIABILIDAD HABITUAL		
$Q_{10} \text{ (m}^3/\text{s)}$	$Q_{90} \text{ (m}^3/\text{s)}$	$Q_{10}-Q_{90} \text{ (m}^3/\text{s)}$
60,84	2,00	58,84

Tabla 53. Estimación del Rango de Variabilidad Habitual del tramo 1-2.
(Fuente: Elaboración propia)

8.3.4. AVENIDAS

Las avenidas constituyen un papel fundamental en el ecosistema fluvial, se encuentra relacionado con:

- **Dinámica geomorfológica**, en lo que se refiere al mantenimiento de un equilibrio dinámico de la geometría, morfología, granulometría, presencia de rápidos y remansos... del sistema fluvial.
- **Continuidad transversal**, referida al mantenimiento de la conectividad cauce-llanura de inundación.
- **Continuidad vertical**, es decir, la conexión con el freático y el medio hiporreico.
- **Continuidad longitudinal**, en cuanto al mantenimiento del río como corredor ecológico (conexión con deltas y estuarios).
- **Dinámica biológica**, como un estímulo para la germinación y los movimientos migratorios, así como la accesibilidad a lugares de cría y estableciendo una sincronía con las estrategias reproductivas.

Debido a tales aspectos significativos resulta necesario caracterizar las avenidas respecto a magnitud y frecuencia, variabilidad, estacionalidad y duración.

8.3.4.1. MAGNITUD Y FRECUENCIA

La magnitud y la frecuencia vienen caracterizadas por cuatro parámetros recogidos en la Tabla 54:

- Magnitud de caudales con especial significación geomorfológica (Q_{GL}).
- Magnitud de caudales que garantizan conectividad transversal (Q_{CONEC}).
- Magnitud de avenidas habituales ($Q_{5\%}$).
- Magnitud media de las crecidas máximas (Q_c).

MAGNITUD DE LAS AVENIDAS			
$Q_{GL} \text{ (m}^3/\text{s)}$	$Q_{CONEC} \text{ (m}^3/\text{s)}$	$Q_{5\%} \text{ (m}^3/\text{s)}$	$Q_c \text{ (m}^3/\text{s)}$
349,4	502	86,41	289,47

Tabla 54. Caracterización de la magnitud de las avenidas en régimen natural del tramo 1-2.
(Fuente: Elaboración propia)

8.3.4.2. VARIABILIDAD

La variabilidad de los caudales máximos interviene:

- **A nivel geomorfológico**: en la variabilidad hidráulica y por consiguiente en la diversidad de hábitats en el cauce y la llanura de inundación.
- **A nivel biológico**: en múltiples procesos del ecosistema, afectando a organismos, nutrientes y materiales y promoviendo la diversidad tanto espacial como temporalmente.



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

Las fluctuaciones de caudales máximos deben ser además predecibles por los organismos, garantizando de este modo la armonía con sus ciclos vitales y deben fluctuar siempre dentro de unos rangos compatibles con sus requerimientos.

La variación de caudales máximos se evalúa mediante el coeficiente de variación de la serie de máximos caudales diarios anuales ($Q_{MÁX}$ o Q_c) y el coeficiente de variación de la serie de caudales que definen la avenida habitual ($Q5\%$). Ambos parámetros se representan en la siguiente Tabla:

VARIABILIDAD DE LAS AVENIDAS	
Coeficiente de variación $Q_{MÁX}$	Coeficiente de variación $Q5\%$
0,84	0,74

Tabla 55. Caracterización de la variabilidad de las avenidas en el tramo del sistema de embalses del río Tera.
(Fuente: Elaboración propia)

A través de estos datos puede concluirse que la variabilidad de las avenidas máximas anuales alcanza niveles altos, ya que la desviación típica supone el 84% de la media. En cuanto a la variabilidad de las avenidas habituales, el resultado es ligeramente menor al anterior, con una desviación típica del 74% de la media.

8.3.4.3. DURACIÓN

La duración de las avenidas queda evaluada mediante la determinación, para cada año de la serie, del máximo número de días consecutivos con caudal mayor que la avenida habitual; así como estimando posteriormente el valor medio para los n años disponibles.

Las alteraciones ambientales ligadas a una distorsión en la duración de las avenidas están íntimamente ligadas a otros aspectos de las mismas como su duración y frecuencia. Es por ello, que muchos de los comentarios expuestos al definir esos aspectos son aplicables también ahora.

Como afecciones más significativas ligadas a alteraciones en la duración de las avenidas pueden citarse:

- 🔵 **A nivel geomorfológico:** pérdida de los rápidos como hábitats de calidad si se prolongan los períodos de caudales altos, pérdida del equilibrio dinámico geomorfológico, alteraciones graves en el medio hiporreico.
- 🔵 **A nivel biológico,** los caudales altos suponen situaciones de estrés para la biota que de prolongarse más de su capacidad de resiliencia conllevan situaciones irreversibles para muchas comunidades (arrastre y deriva de organismos, mortalidad, daños fisiológicos, afección a la reproducción).
- 🔵 **En las bandas riparias y la llanura de inundación,** la excesiva duración de los períodos de inundación puede originar tasas elevadas de mortalidad por anoxia. Recíprocamente si se prolonga la duración de los períodos de “no inundación” se pueden originar alteraciones en la distribución y composición de las comunidades riparias.

DURACIÓN DE LAS AVENIDAS	
$Q5\%$ (m^3/s)	Duración avenida (días)
86,41	6

Tabla 56. Caracterización de la duración de las avenidas en el régimen natural del tramo 1-2.
(Fuente: Elaboración propia)



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

8.3.4.4. ESTACIONALIDAD

La estacionalidad de las avenidas guarda sincronía con los ciclos vitales de las especies y con el conjunto de variables ambientales, tales como horas de luz al día, régimen de precipitaciones, temperatura...

Una alteración en el patrón estacional de las avenidas puede inducir:

- Afección a las pautas reproductivas de la biota animal: migración, freza, incubación, crecimiento, desarrollo...
- Afección a la dispersión, germinación, crecimiento, desarrollo, etc., de especies vegetales acuáticas y riparias.
- Aislamiento de organismos por pérdida de conectividad hidráulica.
- Afección a la calidad del agua.
- Cambios morfológicos en confluencias por pérdida de sincronía con los tributarios.
- Alteración en el ciclo de la materia orgánica y otros nutrientes.

	Oct	Nov	Dic*	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Nº MEDIO DÍAS AL MES CON AVENIDAS (86,41 m³/s)*	1,7	2,5	4,4	3,2	1,5	3,1	1,7	0,5	0,3	0,0	0,0	0,0

*Entre paréntesis se especifica el caudal medio diario que define una avenida habitual.

*En color verde se detalla el mes que presenta el máximo nº de días con avenida.

Tabla 57. Número medio de días al mes en los que el caudal es mayor que el caudal habitual del tramo 1-2.
(Fuente: Informe nº4 de IAHRIS)

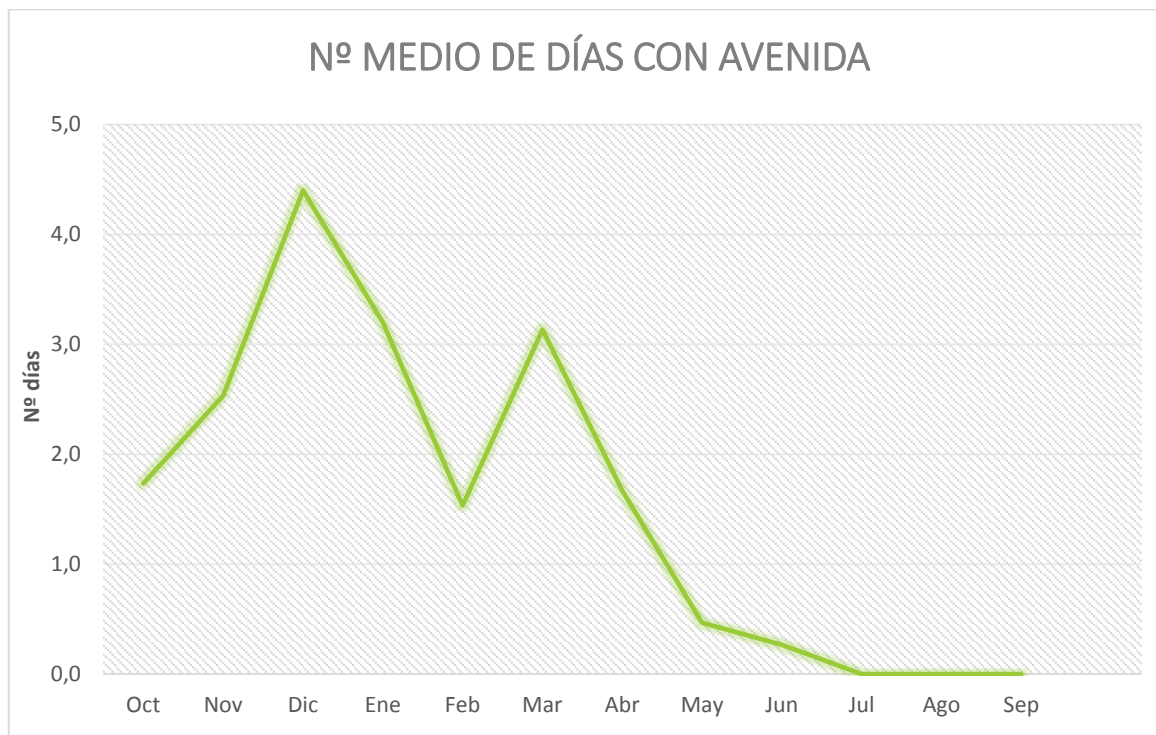


Figura 73. Caracterización de la estacionalidad de las avenidas en el tramo del sistema de embalses del río Tera.
(Fuente: Elaboración propia)

Los resultados obtenidos del tramo del sistema de embalses del río Tera permiten concluir que la variabilidad estacional es patente en este río puesto que las avenidas se producen en meses de invierno y principios de primavera.



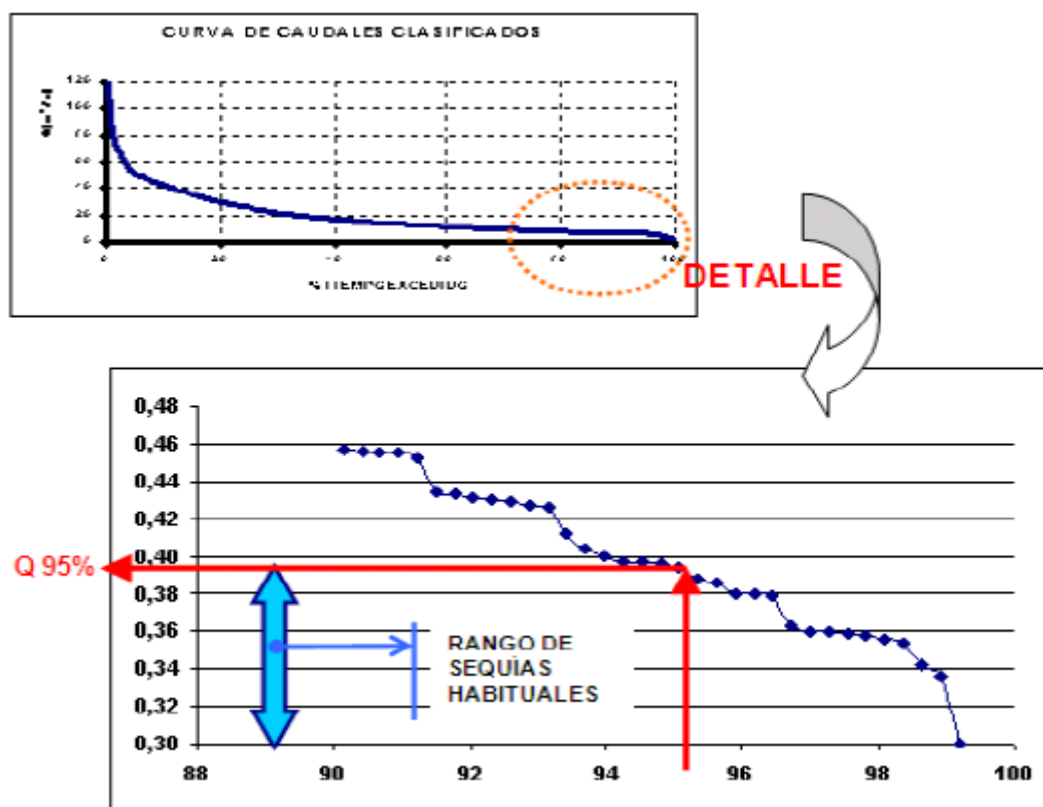
8.3.5. SEQUÍAS

8.3.5.1. MAGNITUD Y FRECUENCIA

Las variables de magnitud y frecuencia de los caudales extremos mínimos tienen implicaciones ambientales tales como:

- **En la biota acuática y riparia:** control de la dinámica del ecosistema regulando la intromisión de especies exóticas no adaptadas a estos eventos; influencia en el tamaño, composición y dinámica poblacional de las especies existentes; afección a la potencial del medio hiporreico y por consiguiente a la comunidad de macroinvertebrados.
- **En la continuidad longitudinal, transversal y vertical** del corredor fluvial: determinación en los períodos secos de la disponibilidad de hábitat, del contenido de humedad en la banda riparia, de la conectividad con el freático, de la conectividad entre pozas y de la vitalidad en los rápidos.
- **Afección a la calidad del agua** al alterarse su capacidad de dilución.

Tanto la magnitud como la frecuencia de las sequías quedan definidas mediante dos parámetros: la magnitud media de las sequías máximas (Q_5) y la magnitud de las sequías habituales ($Q_{95\%}$).



(Fuente: C.Martínez, J.A. Fernández, 2009)

La sequía habitual es un parámetro de gran importancia en la metodología IAHRIS, ya que constituye un umbral que permite discriminar si un día determinado tiene o no el carácter de día seco. Siempre que el caudal medio diario, de ese día sea menor o igual que el correspondiente a la sequía habitual, se tomará ese día como seco.

La Tabla 58 establece como umbral de sequía un caudal medio diario de $1,36 \text{ m}^3/\text{s}$.

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

MAGNITUD DE LAS SEQUÍAS	
Q_s (m ³ /s)	$Q_{95\%}$ (m ³ /s)
0,45	1,36

Tabla 58. Caracterización de la magnitud de las sequías en el tramo del sistema de embalses del río Tera. (Fuente: Elaboración propia)

Los resultados obtenidos a través del informe nº4 de IAHRS indican que, como media el 95% de los días del año se dispone de un caudal superior a 1,36 m³/s. Sólo un 5% del año, aproximadamente 18 días, presenta un caudal menor.

Los valores extremos mínimos de un régimen de caudales oscilan dentro de un intervalo que resulta siempre compatible con los requerimientos de las especies afectadas. Estas fluctuaciones son predecibles por las especies nativas, adaptadas a ellas, constituyendo una salvaguarda frente a la intromisión de especies alóctonas. La pérdida de variabilidad induce una pérdida en la diversidad hidráulica, en las condiciones del medio y por consiguiente en la biodiversidad (C. Martínez y J.A. Fernández, 2009).

8.3.5.2. VARIABILIDAD

En cuanto a la variabilidad de los caudales mínimos, su método para evaluarlas se basa en dos parámetros, al igual que para las avenidas: el coeficiente de variación de la serie de mínimos caudales diarios anuales (Q_{MIN} o Q_s) y el coeficiente de variación de la serie de caudales que definen la sequía habitual ($Q_{95\%}$).

VARIABILIDAD DE LAS SEQUÍAS	
Coeficiente de variación Q_{MIN}	Coeficiente de variación $Q_{95\%}$
1,53	0,53

Tabla 59. Caracterización de la variabilidad de las sequías en el tramo del sistema de embalses del río Tera. (Fuente: Elaboración propia)

En el caso de las sequías se presenta una la variabilidad de los caudales mínimos diarios anuales que alcanza niveles elevadamente altos, ya que la desviación típica supera el 100% de la media. En relación con la variabilidad de las sequías habituales, se obtiene una desviación típica del 53% de la media, por lo que es significativamente menor al anterior.

8.3.5.3. DURACIÓN

Las alteraciones ambientales ligadas a una distorsión en la duración de las sequías se encuentran íntimamente ligadas a otros aspectos de las mismas, como su magnitud y frecuencia. Las especies animales y vegetales presentan adaptaciones en su ciclo de vida, fisiología y morfología, y en su comportamiento, a los eventos extremos de avenidas y sequías.

Por lo tanto, las afecciones que resultan más significativas, en cuanto a la duración de las sequías, son:

- Afección irreversible si se altera la capacidad de resiliencia de las comunidades de macroinvertebrados y peces.
- Afección al tamaño, tolerancia y comportamiento de la ictiofauna.
- Predominio de especies generalistas si se prolongan no naturalmente, pérdida de calidad en el hábitat fluvial.
- Pérdida de sincronía con las variables ambientales.



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

- Los períodos de caudal nulo constituyen situaciones críticas para el ecosistema, que de ser prolongadas más allá de sus límites naturales, pueden superar la capacidad de resiliencia de las especies originando graves alteraciones.

En este caso, la duración de las sequías se evalúa mediante el cálculo, para cada año de la serie, cual es el máximo número de días consecutivos con caudal menor que el caudal de sequía habitual (Q95%). Posteriormente se estima el valor medio para los n años disponibles.

La Tabla 60 recoge los resultados obtenidos mediante IAHRIS:

DURACIÓN DE LAS SEQUÍAS	
Q95% (m^3/s)	Duración sequías (días)
1,36	7,47

Tabla 60. Caracterización de la duración de las sequías en el tramo del sistema de embalses del río Tera. (Fuente: Elaboración propia)

El número de días de sequías indica que los períodos secos son muy breves en este río en régimen natural, porque se encuentra lejos del carácter típicamente mediterráneo, con periodos secos más largos.

8.3.5.4. ESTACIONALIDAD

La estacionalidad de las sequías al verse afectada puede producir fuertes distorsiones en el ecosistema fluvial, estos efectos sobre el medio son autoacumulables:

- Pérdida de sincronía con los ciclos vitales de las especies, afectando a las pautas reproductivas, migración, freza, crecimiento, desarrollo...
- Pérdida de sincronía con la temperatura y la duración del día, afectando a la reproducción, crecimiento y supervivencia de las especies.
- Alteración en el estado de diapausa sincronizado con los períodos secos.
- Estrés fisiológico, muchas veces con carácter irreversible si se prolongan los períodos secos por encima del umbral de resiliencia de las especies. En definitiva, la alteración de las pautas estacionales de las sequías, favorece a las especies más generalistas en detrimento de las autóctonas.

Para llevar a cabo la evaluación de la estacionalidad de las sequías se determina para cada mes, el número medio de días en ese mes en que se presentan caudales diarios inferiores al que define una sequía habitual (Q95%).

	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago*	Sep
Nº MEDIO DÍAS AL MES CON $Q \leq Q95\%$ ($1,36 \text{ m}^3/\text{s}$)*	2,5	0,4	0,3	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,9	5,1	7,9	5,5

*Entre paréntesis se especifica el caudal medio diario que define una sequía habitual.

*En color verde se detalla el mes que presenta el máximo nº de días con sequía.

Tabla 61. Número medio de días al mes en los que el caudal es mayor que el caudal habitual del tramo 1-2. (Fuente: Informe nº4 de IAHRIS)

Los resultados obtenidos mostrados por la Tabla 61 y la Figura 75 muestran que la presencia de mayor número de días con caudal inferior al de la sequía habitual en todos los meses del período estival (julio, agosto y septiembre), meses en los cuales no se presentaban avenidas. Cuando no hay precipitaciones significativas, y por tanto no circula caudal procedente de escorrentía superficial, se puede alcanzar en unos días el caudal base y así el río se sitúa en valores ligeramente inferiores a los de la sequía habitual ((C. Martínez y J.A. Fernández, 2009).



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

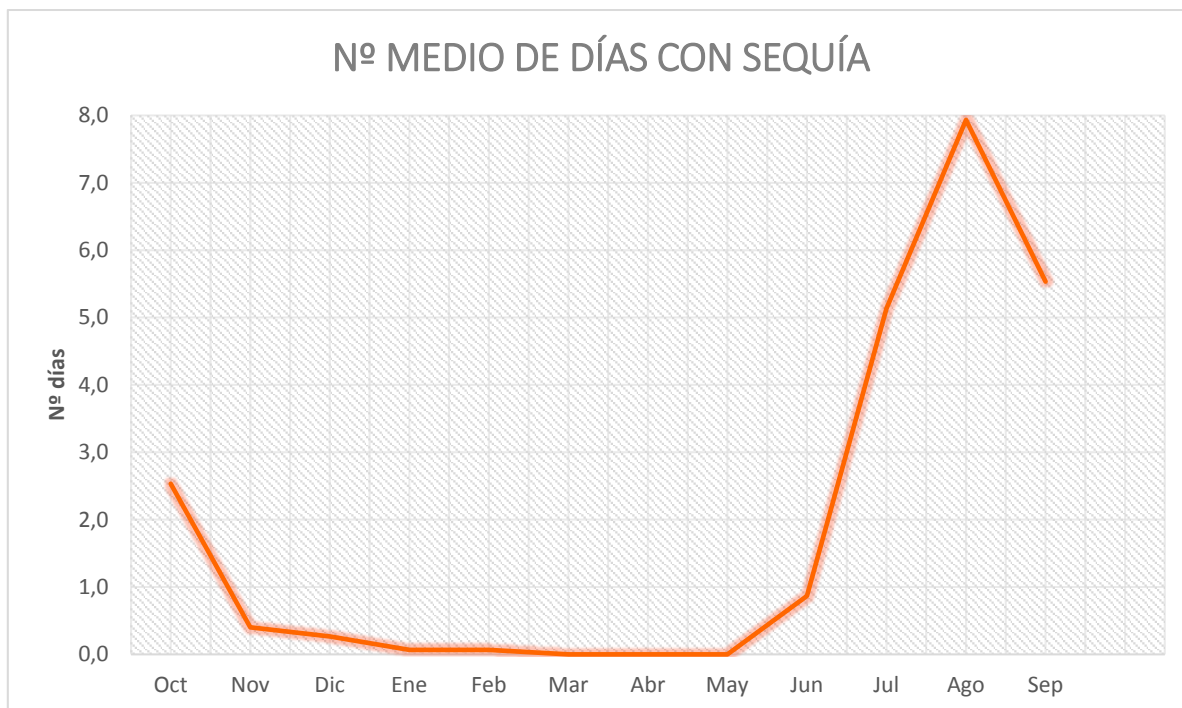


Figura 75. Caracterización de la estacionalidad de las sequías en el tramo del sistema de embalses del río Tera.
(Fuente: Elaboración propia)

La estacionalidad de las sequías habituales está focalizada en los meses de verano, en especial en el mes de agosto, junto con los meses de julio y septiembre.

8.4. CONCLUSIONES

El régimen natural del tramo 1-2 del río Tera se caracteriza, según lo analizado anteriormente, por los siguientes rasgos destacados:

Con respecto a las **aportaciones anuales**, el tramo presenta una alta variabilidad interanual, es decir, el rango de las aportaciones anuales es realmente amplio (desde 366 hm³ hasta 2171,979 hm³).

Las **aportaciones mensuales** muestran una clara variabilidad intranual en años húmedos y, aunque esta disminuye claramente en años medios, aún se puede considerar que es significativa, mientras que en años secos es prácticamente escasa. La estacionalidad queda muy marcada en los mínimos, los cuales se originan para todos los tipos de año en el mes de agosto; por otro lado, los máximos presentan una estacionalidad más dispersa ya que abarcan un período mayor (de diciembre a abril).

En cuanto a las avenidas, la variabilidad de las **avenidas máximas anuales** resulta elevada (siendo la media de los máximos 289,47 m³/s) aunque de corta duración (6 días). El umbral que define una avenida habitual es de 86,41 m³/s.

Los **caudales mínimos** del tramo son muy bajos (0,45 m³/s es la media de los mínimos). La duración de las sequías muestra la patente influencia atlántica, en la que los períodos secos se ven disminuidos. En cuanto a la variabilidad, las sequías presentan altos niveles de variabilidad de los caudales mínimos diarios anuales.

Estacionalidad de avenidas (octubre-marzo) y sequías (junio-septiembre) se complementan con un patrón bien definido y sostenido en el tramo.



9. EVALUACIÓN DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA DEL SISTEMA DE EMBALSES (TRAMO 1-2) DEL RÍO TERA

9. EVALUACIÓN DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA DEL SISTEMA DE EMBALSES (TRAMO 1-2) DEL RÍO TERA

9.1. INTRODUCCIÓN

Una vez analizado el régimen natural del tramo, se presente evaluar la alteración de este en sus aspectos más esenciales. Las posibles causas de alteración de este tramo se deben al sistema de embalses para uso hidroléctrico principalmente.

Esta evaluación se va a llevar a cabo a través de la metodología IAHRIS, con sus índices de alteración hidrológica, y complementando con la metodología IHA.

9.2. CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN ALTERADO (MÉTODO IAHRIS)

En este epígrafe se pretende caracterizar de forma cuantitativa y cualitativa la alteración ejercida en el río Tera por medio del sistema de embalses presentes en su tramo aguas abajo del lago de Sanabria: Cernadilla, Valparaíso y Nuestra Señora del Agavanzal. Para llevar a cabo tal evaluación es necesario comparar el régimen natural, descrito en el anterior epígrafe, con el régimen alterado (régimen entrante por la cola del primer embalse con el régimen circulante aguas abajo).

Analizada la disponibilidad de datos en el epígrafe de *CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA*, la evaluación de la alteración se llevará a cabo en base a los aspectos recogidos en la Tabla siguiente:

RÉGIMEN NATURAL		RÉGIMEN ALTERADO		PROCESO
Estación	Periodo	Estación	Periodo	
2144 (transformados los datos)	1995-2010 (15 años)	2034	1995-2010 (15 años)	Series coetáneas

Tabla 62. Datos disponibles en régimen natural y alterado para el Estudio del tramo 1-2 con IAHRIS.
(Fuente: Elaboración propia)

9.2.1. APORTACIONES ANUALES

Las aportaciones anuales del régimen natural y alterado quedan representadas en la Figura 76, con el fin de poder compararlos y conocer la afección en la magnitud y variabilidad de estas aportaciones.

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

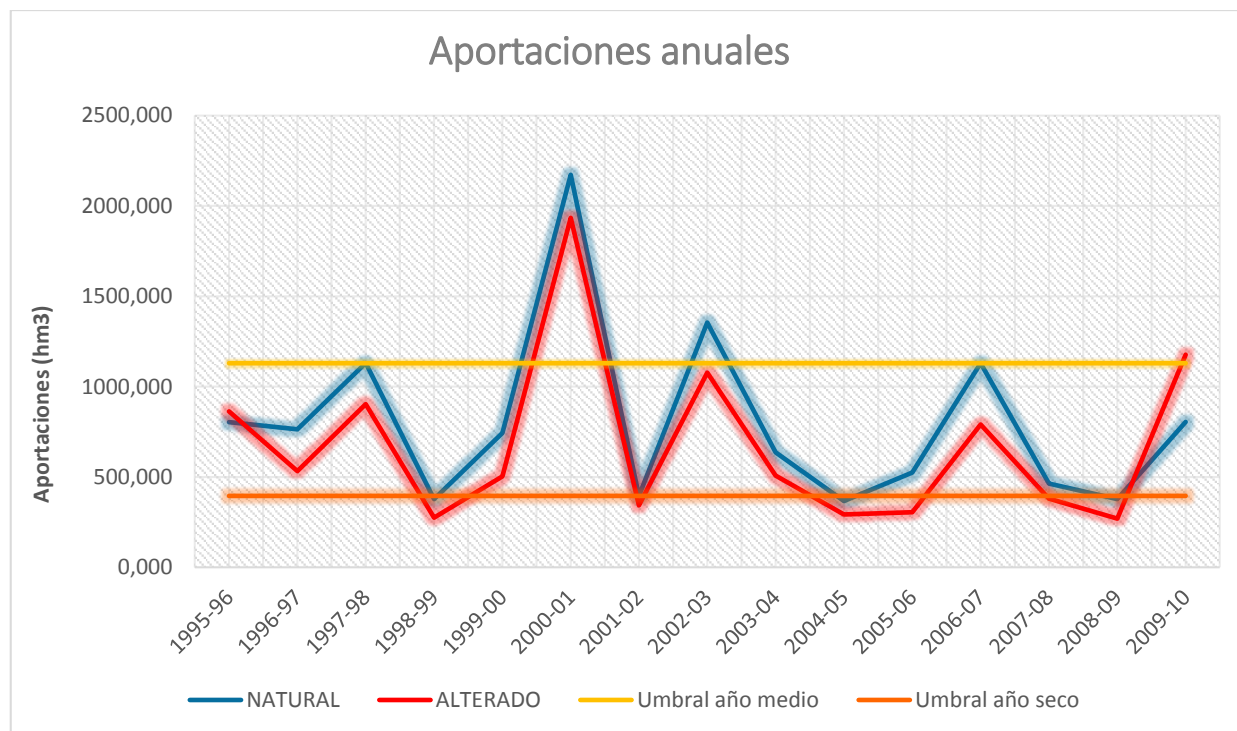


Figura 76. Gráfico comparativo de aportaciones anuales en régimen natural y alterado entre 1995 y 2010 del tramo 1-2
(Fuente: Elaboración propia)

En el gráfico se muestra la reducción de las aportaciones del régimen natural en el alterado. La variación de aportaciones es apenas inapreciable y los picos naturales se mantienen. Por lo tanto la magnitud es el parámetro más afectado, reduciéndose en el régimen alterado, aunque mínimamente; mientras que la variabilidad interanual es prácticamente nula ya que los picos entre años no se ven reducidos. No obstante, es necesario destacar que en algunos años es posible comprobar que la magnitud de las aportaciones anuales es mayor en el régimen alterado que en el natural.

TIPOS DE AÑO PARA RÉGIMEN ALTERADO					
HÚMEDOS		MEDIOS		SECOS	
AÑO	APORTACIÓN (hm³)	AÑO	APORTACIÓN (hm³)	AÑO	APORTACIÓN (hm³)
1997-98	902,958	1995-96	862,523	1998-99	274,713
2000-01	1933,800	1996-97	532,444	2001-02	343,276
2002-03	1077,579	1999-00	502,804	2004-05	292,296
2006-07	790,149	2003-04	507,206	2008-09	269,400
Media	1176,121	2005-06	304,345	Media	294,921
		2007-08	379,828		
		2009-10	1176,547		
		Media	609,385		

Tabla 63. Tabla de años húmedos, medios y secos en régimen natural del tramo 1-2
(Fuente: informe nº1 de IAHRS)



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

A título informativo se recogen los valores registrados máximos y mínimos en cada régimen:

	RÉGIMEN NATURAL		RÉGIMEN ALTERADO	
	Máxima ($\text{hm}^3/\text{año}$)	Mínima ($\text{hm}^3/\text{año}$)	Máxima ($\text{hm}^3/\text{año}$)	Mínima ($\text{hm}^3/\text{año}$)
	2171,979	377,606	1933,800	274,713
Media	1274,792		1104,256	

Tabla 64. Aportaciones anuales máximas, mínimas y medias en régimen natural y alterado del tramo 1-2.
(Fuente: Elaboración propia)

A partir de los datos recogidos en la Tabla anterior se corrobora que la magnitud del régimen alterado a nivel anual se ve reducida, aunque no de forma significativa.

En la Figura 77 se aprecia la afección en la magnitud de las aportaciones, desglosada por tipo de año:

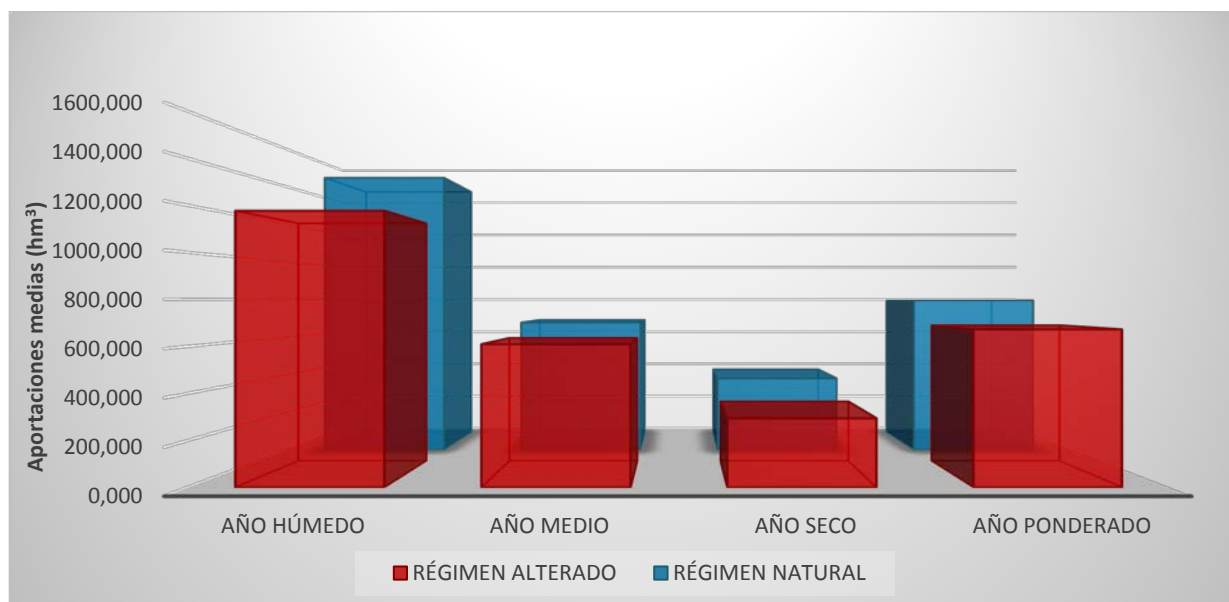


Figura 77. Aportaciones anuales medias por cada tipo de año en régimen natural y alterado del tramo 1-2.
(Fuente: Elaboración propia)

En la Tabla 65 pueden observarse las aportaciones anuales en ambos regímenes, así como el porcentaje correspondiente que supone el alterado frente al natural:

TIPO DE AÑO	APORTACIÓN ANUAL		Alterado/Natural (%)
	RÉGIMEN NATURAL	RÉGIMEN ALTERADO	
Año húmedo	1446,647	1176,121	81,3
Año medio	676,801	609,385	90,0
Año seco	379,258	294,921	77,8
Año ponderado	794,876	672,453	84,6

Tabla 65. Aportaciones anuales por tipo de año en régimen natural y alterado del tramo 1-2.
(Fuente: Elaboración propia)



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

Los datos recogidos en la anterior tabla y representados en la Figura 76 muestran que la alteración en magnitud a nivel anual no se considera grave, puesto que las detracciones de los embalses no superan el 16% en el año ponderado, e incluso, el 10% en años medios.

9.2.2. APORTACIONES MENSUALES

Caracterizadas las aportaciones correspondientes a cada mes en los dos regímenes, la figura que se adjunta pone de manifiesto la distorsión existente en magnitud, y muy especialmente en variabilidad intranual.

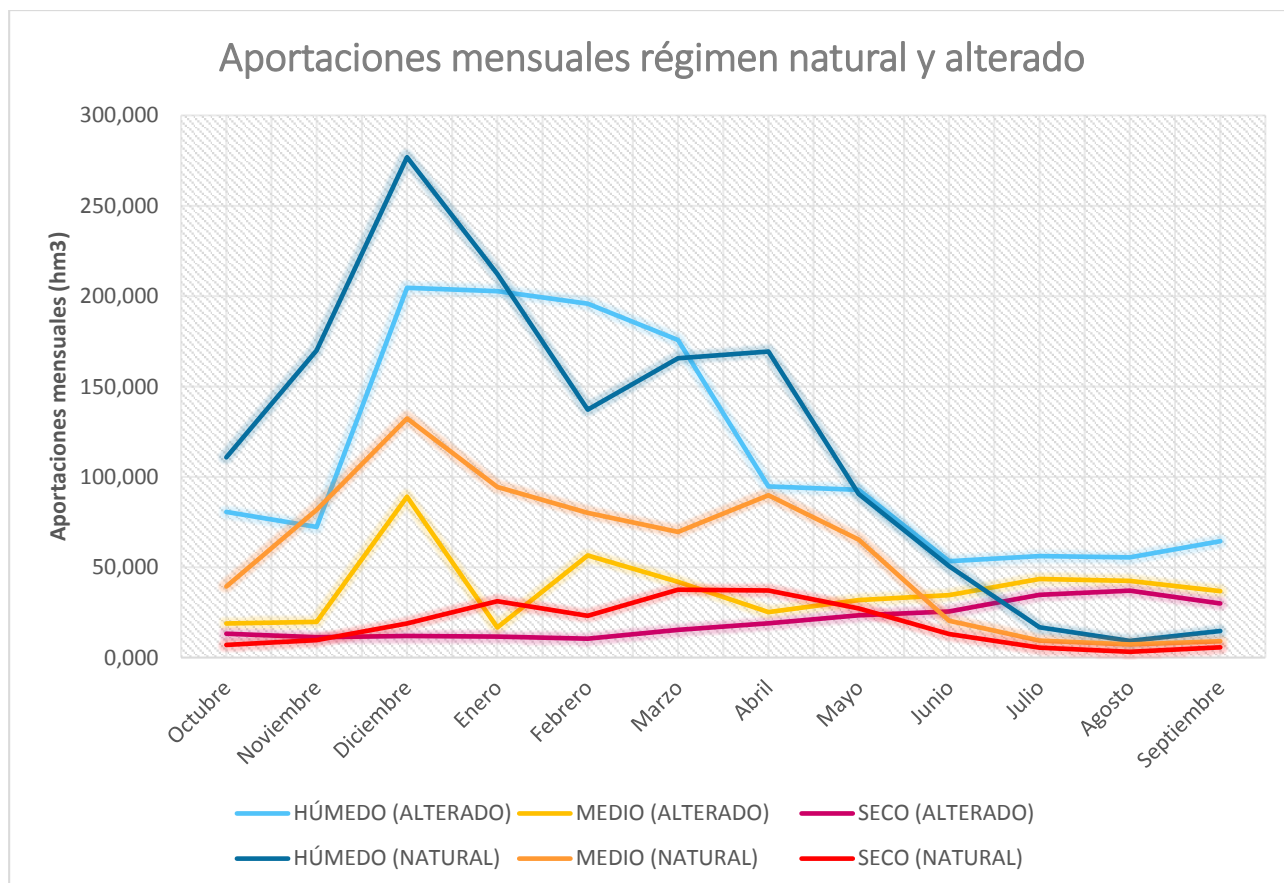


Figura 78. Aportaciones mensuales para cada año entre régimen natural y alterado del tramo 1-2.
(Fuente: Elaboración propia)

A partir de la Figura 78 se conoce que la variabilidad intranual varía intensamente en el régimen alterado. Con respecto al **año húmedo**, no se mantienen los picos naturales, sino que las aportaciones son prácticamente continuas en los meses de invierno, para dar lugar a una bajada brusca de estas en meses de primavera tardía y verano. Es necesario comentar que en los años húmedos, el régimen alterado supera en aportaciones al natural.

Los **años medios**, al igual que los húmedos, ven variada notablemente su variabilidad intranual, como se puede observar de la misma manera en la Tabla 65. Es necesario destacar, la bajada brusca en el mes de enero, mientras que en el régimen natural se produce una bajada paulatina; así como la bajada de aportaciones en meses de primavera como abril y mayo. Además, se percibe un gran cambio en las aportaciones en verano que, como ocurre en los años húmedos, en régimen natural estas se ven aumentadas.

En los **años secos** la variabilidad intranual se ve modificada a la inversa, puesto que en meses de invierno las aportaciones son menores y en verano aumentan.

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

APORTACIONES MENSUALES (lmm ³)				
TIPO DE AÑO	HÚMEDO	MEDIO	SECO	Alterado/Natural (%)
MES				(año medio)
Octubre	80,681	18,924	13,278	48,058
Noviembre	72,338	19,799	11,273	24,206
Diciembre	204,652	89,071	11,973	67,288
Enero	202,797	16,713	11,635	17,692
Febrero	195,882	56,512	10,492	70,580
Marzo	175,732	41,931	15,363	60,287
Abril	94,727	25,239	18,984	28,095
Mayo	92,855	31,800	23,405	48,672
Junio	53,335	34,560	25,512	169,237
Julio	56,194	43,568	34,757	461,818
Agosto	55,448	42,455	37,072	580,462
Septiembre	64,425	36,790	30,014	404,241
Máximo	204,652	89,071	37,072	67,288
Media	112,422	38,114	20,313	65,426
Mínimo	53,335	16,713	10,492	228,506

Tabla 66. Aportaciones mensuales en régimen alterado del tramo 1-2
(Fuente: Elaboración propia mediante informe nº3 de IAHRIS)

De nuevo, en los años secos las aportaciones en verano resultan mayores en el régimen alterado suponiendo, incluso, las máximas aportaciones del año. Provocando de esta forma un cambio en la variación intranual.

De forma general, la variabilidad intranual se ve reducida en los distintos años del régimen alterado, además de presentar alteraciones tales como las mayores aportaciones en verano, aportaciones en los meses de invierno... La Figura 78 revela una evidencia clara de la alteración existente aguas abajo del sistema de embalses, no respetando el régimen pluvionival característico del río Tera.

Aportación mensual												
TIPO DE RÉGIMEN	Oct	Nov**	Dic*	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago**	Sep
Régimen Natural	49,16	85,82	140,14	108,13	80,14	85,60	96,55	62,12	26,14	10,31	6,78	9,65
Régimen alterado	32,95	30,80	98,69	61,96	79,85	68,74	41,05	44,97	36,99	44,52	44,36	42,00
Alterado/Natural (%) (año medio)	67,03	35,89	70,42	57,31	99,63	80,30	42,51	72,39	141,53	431,82	654,58	435,13

*En color verde se detalla el mes que presenta el máximo de aportaciones mensuales con respecto al año ponderado para cada régimen.

**En color morado se presenta el mes con las mínimas aportaciones mensuales con respecto al año ponderado para cada régimen.

Tabla 67. Magnitud de las aportaciones mensuales para los dos regímenes correspondientes al año ponderado del tramo 1-2.
(Fuente: Elaboración propia)

La profunda alteración en la variabilidad intranual queda también confirmada por la disfunción existente en ambos regímenes en la estacionalidad de la mínima aportación mensual.



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

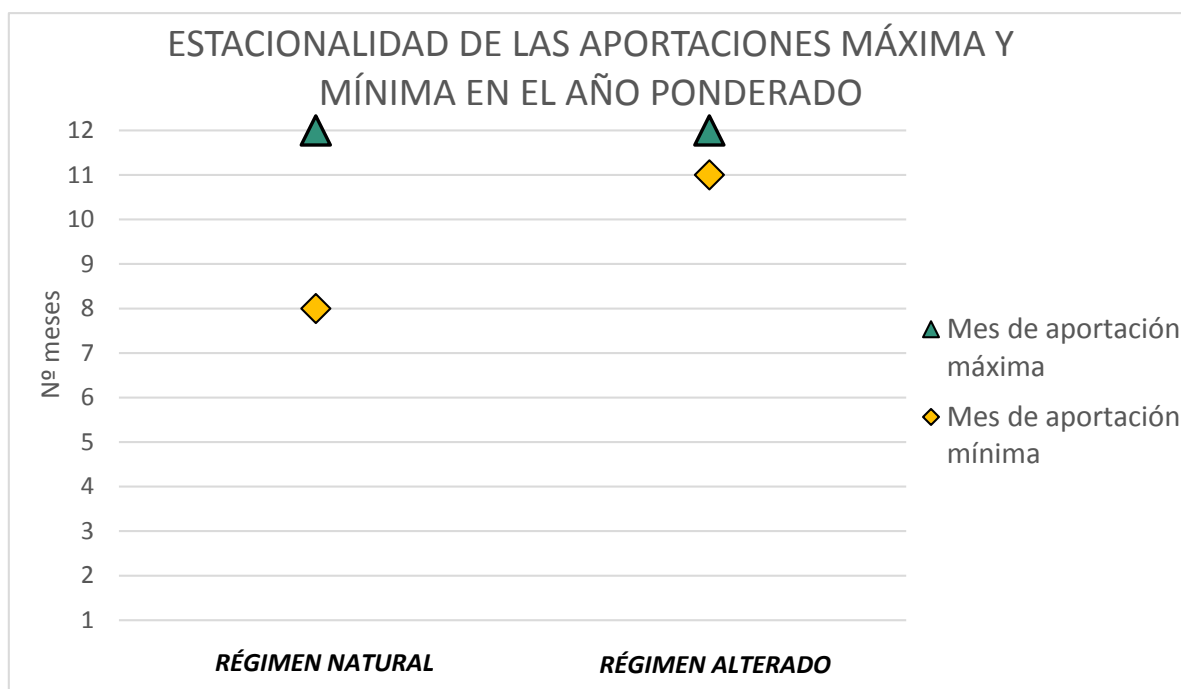


Figura 79. Estacionalidad de máximos y mínimos mensuales del año ponderado en el tramo 1-2.
(Fuente: Elaboración propia)



Para el año ponderado, tanto en régimen natural como en alterado, el máximo se sitúa en el mes de diciembre. No obstante, en el alterado los caudales máximos se mantienen de diciembre a marzo. En cuanto a las aportaciones mínimas, se localizan en el mes de agosto para el régimen natural y en noviembre para el alterado. Como es posible apreciar en las aportaciones mínimas, la alteración de la variabilidad podría considerarse grave.

A través de la Tabla 67 se conoce que se producen alteraciones significativas en la variabilidad intranual en el año ponderado: en el régimen alterado las aportaciones mensuales aumentan en meses de verano, además se produce una gran bajada de dichas aportaciones en el mes de noviembre. De manera que, al comparar régimen natural con alterado, se llega a la conclusión de que se producen graves alteraciones en el sistema fluvial en relación con la variabilidad intranual, mostrándose especialmente esto en el período estival.

9.2.3. CAUDALES DIARIOS CIRCULANTES

Como ya se ha explicado en el epígrafe *CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN NATURAL DEL SISTEMA DE EMBALSES (TRAMO 1-2) DEL RÍO TERA* la curva de caudales clasificados es una herramienta de gran utilidad a la hora de relacionar la magnitud de los caudales circulantes con el porcentaje de tiempo al año en que ese caudal es igualado o superado.

Esta curva proporciona información muy interesante sobre el comportamiento hidrológico de la cuenca. En concreto, en el caso del río Tera en el tramo compuesto por el sistema de embalses expuestos, puede apreciarse para el régimen natural dos aspectos destacados:

-  En lo que se refiere a caudales mayores, acontecidos en muy pocos días del año, alcanzan valores de más de 220 m³/s, en cambio en el alterado estos caudales no superan los 170 m³/s. En régimen natural se producen caudales mayores o iguales que 87,14 m³/s en 18 días aproximadamente, mientras que en el régimen alterado este umbral sólo se ve sobrepasado el 3% del año.
-  En cuanto a sequías o caudales bajos, el caudal mínimo de 0,48 m³/s y el 90% de días es de 2 m³/s.



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

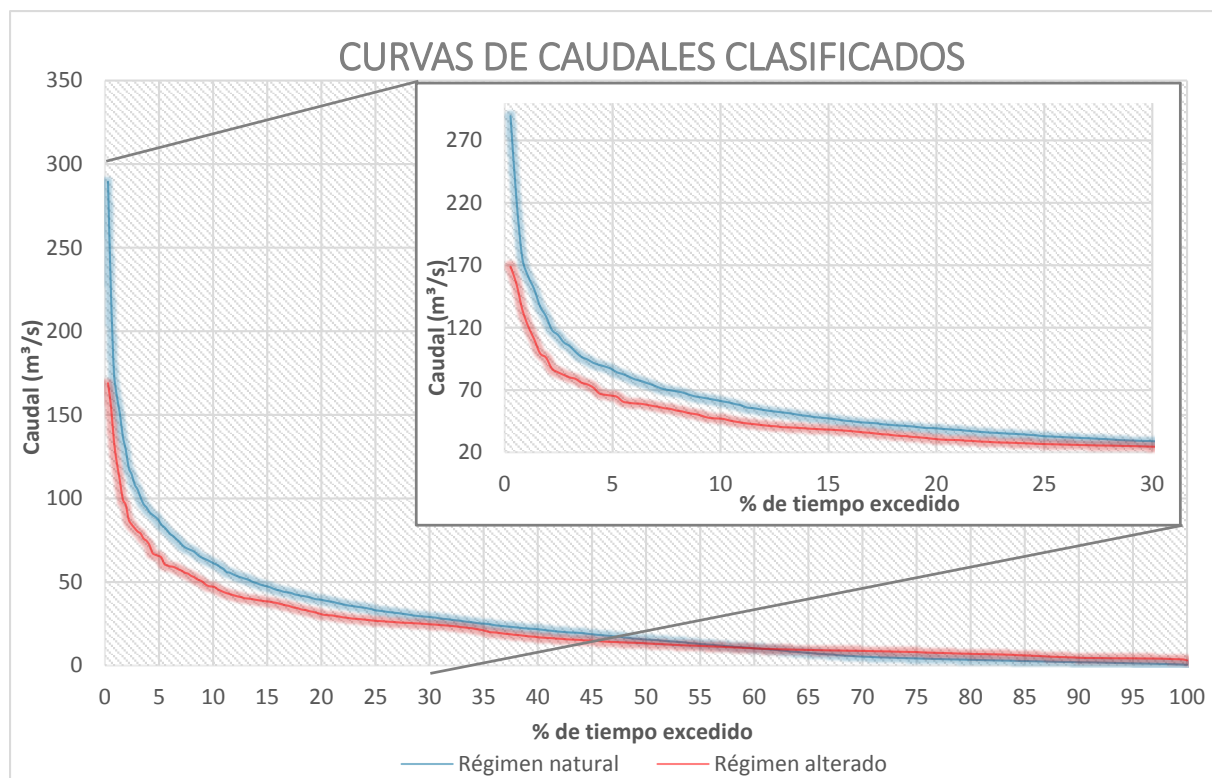


Figura 80. Curva de caudales clasificados en régimen natural y alterado del tramo 1-2.
(Fuente: Elaboración propia mediante informe nº6 IAHRS)

TIPO DE RÉGIMEN	VARIABILIDAD DE CAUDALES DIARIOS		
	Q10% (m³/s)	Q90% (m³/s)	Q10% - Q90% (m³/s)
Régimen natural	60,81	2,00	58,81
Régimen alterado	46,89	4,63	42,26

Tabla 68. Caudales correspondientes a los percentiles de excedencia del 10 y 90% del tramo 1-2.
(Fuente: Elaboración propia)

Tanto en la Tabla superior como en la Figura 81 puede apreciarse cómo se ha modificado el intervalo de la variabilidad habitual entendida como el rango entre los percentiles 10 y 90%, en el cual se mueven los caudales el 80% del año. Mientras que para el régimen natural los caudales oscilan en un rango de casi 60 m³/s, en el alterado este disminuye a 42 m³/s. No obstante, a pesar de que el rango haya disminuido con respecto al régimen natural, este sigue siendo muy amplio.

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

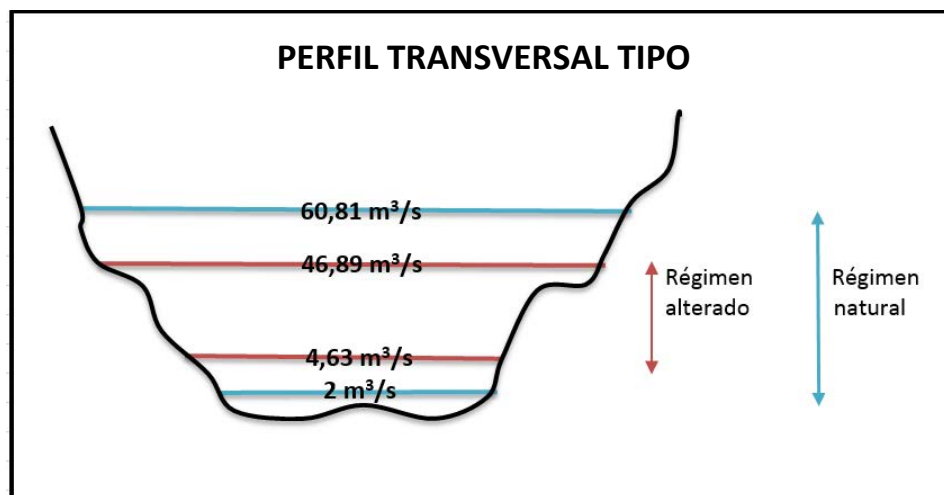


Figura 81. Perfil transversal tipo del río: Rangos de caudales el 80% del año del tramo 1-2.
(Fuente: Elaboración propia)

9.2.4. AVENIDAS

Debido al importante valor ambiental de las avenidas, previamente explicado, es necesario conocer el grado de alteración de estas en cuanto a magnitud, frecuencia, variabilidad y estacionalidad.

9.2.4.1. MAGNITUD Y FRECUENCIA

La magnitud de las avenidas se ve reducida en todos los tipos de avenida estudiados (véase Figura 82).

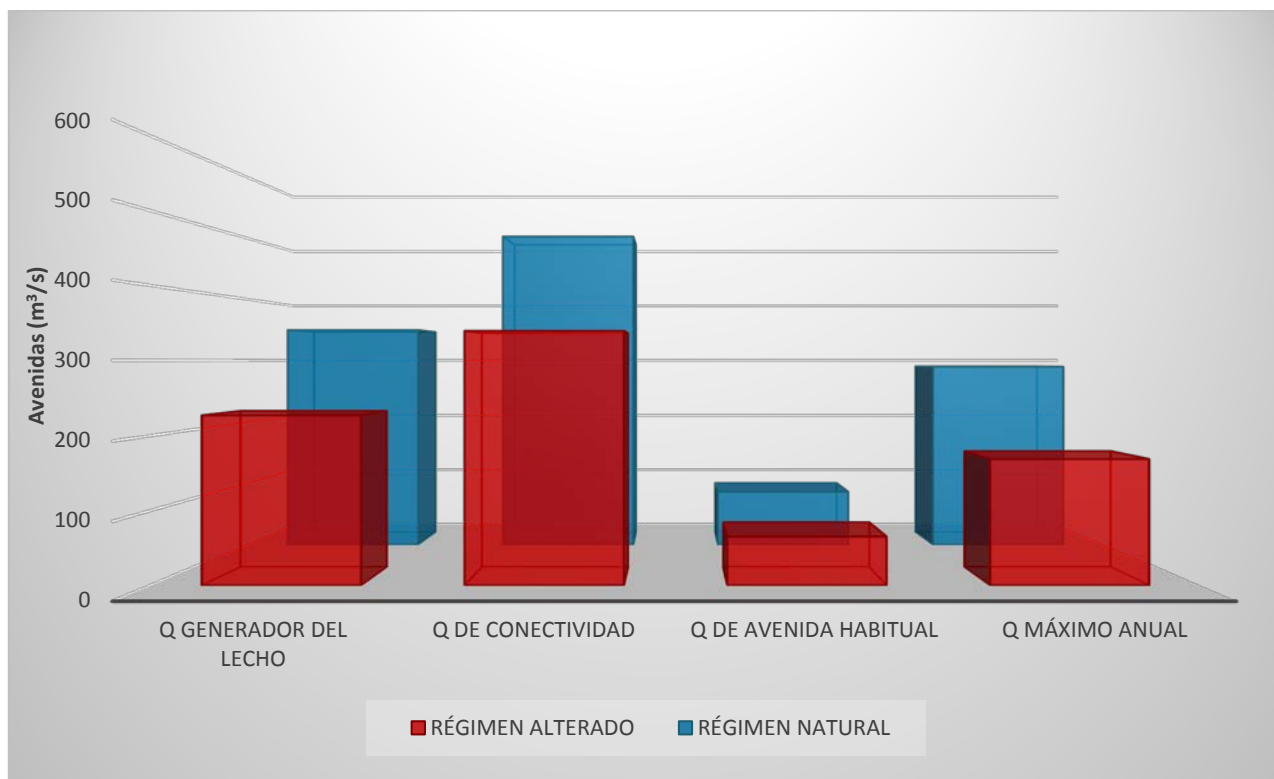


Figura 82. Magnitud de los diferentes tipos de avenidas en ambos regímenes del tramo 1-2.
(Fuente: Elaboración propia mediante IAHRIS)

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

- **Caudal generador del lecho:** este caudal resulta importante para las características geomorfológicas del río y por ello es fundamental que se produzca cada 2 ó 3 años. Las avenidas con significación geomorfológica, estimadas mediante el caudal generador del lecho y responsables de la forma del cauce, tanto en sección como en planta, así como de la secuencia rápido-poza, disminuyen un 34,9% de su valor natural (de 349,4 a 227,31 m³/s). Ello supone mayor capacidad de erosión y transporte y resultados morfológicos nuevos en la búsqueda del equilibrio del sistema.
- **Caudal de conectividad:** caudal es el de mayor magnitud y menor frecuencia, cuya función se basa en conectar transversalmente las márgenes del río. Este caudal se ha visto disminuido en un 32,4% con respecto al régimen natural. Esta alteración resulta importante en el sistema, ya que resultarán reducidos los siguientes aspectos: la periodicidad adecuada del desbordamiento del cauce, la conexión del río con su llanura de inundación, la recarga del acuífero, la dispersión de propágulos y semillas, el acceso a lugares de cría, etc.
- **Caudal de la avenida habitual:** una magnitud de caudal de gran transcendencia en la limpieza del lecho. Con una reducción del 24%, lo cual podría generar una serie de deficiencias en su funcionamiento. La función de estas avenidas de limpieza es fundamental, pues al ser avenidas pequeñas, sólo tienen capacidad para el arrastre de los materiales más fino. Esto unido a su alta frecuencia (varias veces al año) garantiza unas condiciones de sustrato adecuadas para la freza y reproducción y una reorganización de las formas de lecho a pequeña escala.
- **Caudal máximo anual:** el caudal medio de los caudales máximos medios diarios anuales, carece de una significación ambiental evidente, pero permite enmarcar el orden de magnitud de los máximos circulantes. En este caso, también disminuyen en un 41,6% de su valor natural (de 289,47 a 168,88 m³/s).

9.2.4.2. VARIABILIDAD

Otros aspectos que deben ser evaluados son el coeficiente de variación de la serie de caudales máximos anuales y el coeficiente de variación de la avenida habitual.

TIPO DE RÉGIMEN	VARIABILIDAD DE LAS AVENIDAS	
	Coeficiente de variación $Q_{\text{MÁX}}$	Coeficiente de variación $Q_{5\%}$
<i>Régimen natural</i>	0,84	0,74
<i>Régimen alterado</i>	1,08	1,04

Tabla 69. Caracterización de la variabilidad de las avenidas en ambos regímenes del tramo 1-2.
(Fuente: Elaboración propia)

El valor de estos coeficientes se ha visto aumentado, por lo que la variabilidad de las avenidas máximas anuales alcanza niveles mucho mayores a los del régimen natural y la variabilidad de las avenidas habituales. Cabe destacar que estas últimas se ven más incrementadas.

9.2.4.3. DURACIÓN

En cuanto a la duración de las avenidas, el número de días consecutivos que se suceden las avenidas habituales ha quedado reducido un 50% (Tabla 70).



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

TIPO DE RÉGIMEN	DURACIÓN DE LAS AVENIDAS	
	Q5% (m ³ /s)	Duración avenida (días)
Régimen natural	86,41	6
Régimen alterado	65,34	3,73

Tabla 70. Caracterización de la duración de las avenidas en ambos regímenes del tramo 1-2.
(Fuente: Elaboración propia)

9.2.4.4. ESTACIONALIDAD

La alteración de las avenidas en relación a la estacionalidad no resulta muy elevada ya que, aunque el número de días consecutivos de avenidas al mes se han visto reducidos, el patrón anual no ha variado de manera significativa, las avenidas se presentan entre diciembre y marzo. Cabe destacar, sin embargo, que tanto en octubre como en noviembre el número de días con avenidas es drásticamente menor, pudiendo influir negativamente en la estacionalidad. Esta alteración podría suponer la variación de la sincronía necesaria entre la fenología de especies típicas de la zona y las variables ambientales asociadas a los caudales circulantes (calados, velocidades, esfuerzos cortantes, contenido en oxígeno disuelto, turbidez, temperatura, etc.).

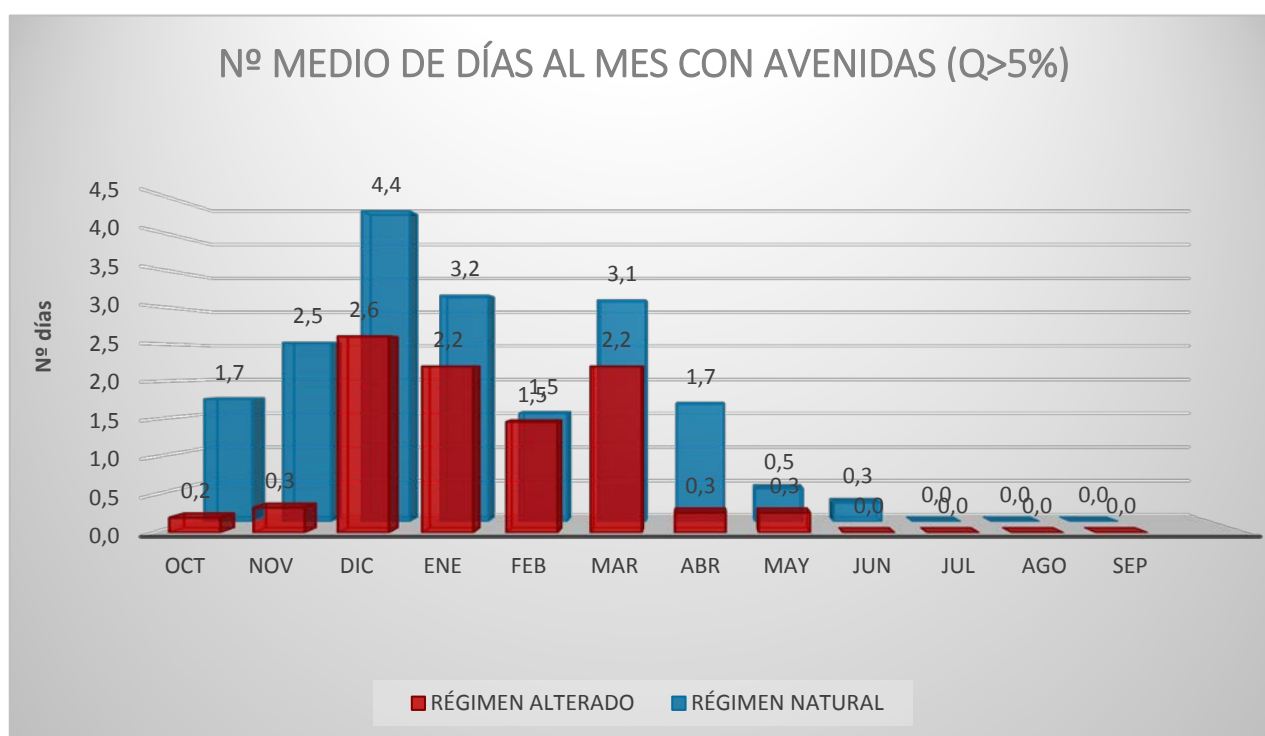


Figura 83. Estacionalidad de las avenidas en ambos regímenes del tramo 1-2.
(Fuente: Elaboración propia)

9.2.5. SEQUÍAS

La trascendencia ambiental de las sequías es de elevada importancia, ya que determinan las condiciones más críticas y extremas del ecosistema, a las cuales están adaptadas las especies autóctonas. Aspectos de las sequías naturales tales como su magnitud, estacionalidad y duración, son cruciales en nuestros ríos, pues

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

conforman un conjunto de condiciones que actúan como “cuello de botella”, como salvaguarda frente a la intromisión de especies foráneas.

9.2.5.1. MAGNITUD Y FRECUENCIA

Respecto a la magnitud de las sequías naturales, estas han experimentado un aumento considerable en los dos parámetros estudiados:

- La media de los caudales mínimos diarios anuales (Q_5) se ve aumentada en el régimen alterado a 2,91 m^3/s , es decir, el valor es seis veces mayor que el valor del régimen natural.
- En cuanto al umbral de sequía habitual, se ha pasado de un 1,36 m^3/s a 4,29 m^3/s . De manera que, en régimen natural sólo el 5% de los días del año (18 días, no necesariamente consecutivos) tenían caudales inferiores a 1,36 m^3/s , mientras que en régimen alterado superan aproximadamente tres veces ese valor.

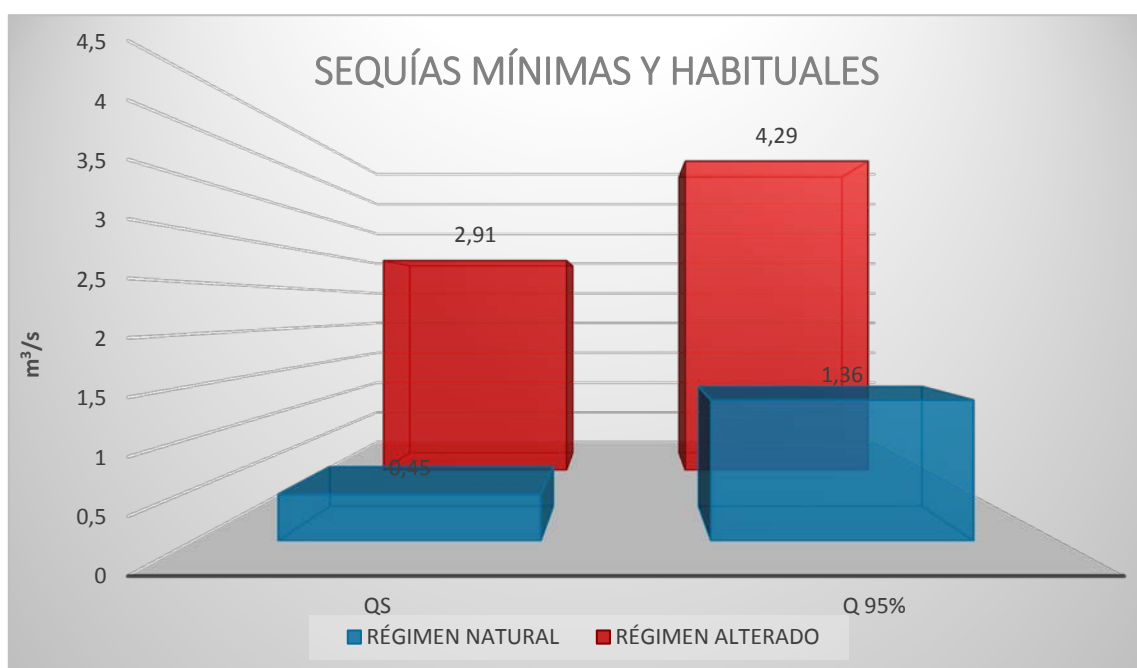


Figura 84. Magnitud de las sequías en ambos regímenes del tramo 1-2.
(Fuente: Elaboración propia)

Estos resultados demuestran que el tramo del río Tera no sufre de sequías pronunciadas, ya que los valores han aumentado considerablemente.

9.2.5.2. VARIABILIDAD

TIPO DE RÉGIMEN	VARIABILIDAD DE LAS AVENIDAS	
	Coefficiente de variación Q_{MIN}	Coefficiente de variación $Q_{95\%}$
Régimen natural	1,53	0,53
Régimen alterado	0,52	0,06

Tabla 71. Caracterización de la magnitud de las sequías en ambos regímenes del tramo 1-2.
(Fuente: Elaboración propia)



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO Esla

La variabilidad de los caudales mínimos se ha visto severamente reducida, a más de la mitad de los valores presentados en el régimen natural.

9.2.5.3. DURACIÓN

Los días consecutivos de sequías se han reducido de forma considerable, ya que se transforman de casi 8 días consecutivos a prácticamente nulos. Esto quiere decir que la mayoría de los días del año no se producen sequías, lo cual es un cambio drástico en el régimen.

TIPO DE RÉGIMEN	DURACIÓN DE LAS SEQUÍAS	
	Q95% (m ³ /s)	Duración sequía (días)
Régimen natural	1,36	7,47
Régimen alterado	4,29	0,20

Tabla 72. Caracterización de la duración de las sequías en ambos regímenes del tramo 1-2.
(Fuente: Elaboración propia)

9.2.5.4. ESTACIONALIDAD

Referente a la estacionalidad de las sequías, la alteración es elevada pues al contrario que ocurría con las avenidas se han modificado casi por completo las pautas estacionales naturales. En régimen alterado la mayoría de los meses no se producen días secos (véase Figura 85). En conclusión, en régimen alterado disminuyen o desaparecen casi por completo las sutiles sequías del régimen natural.

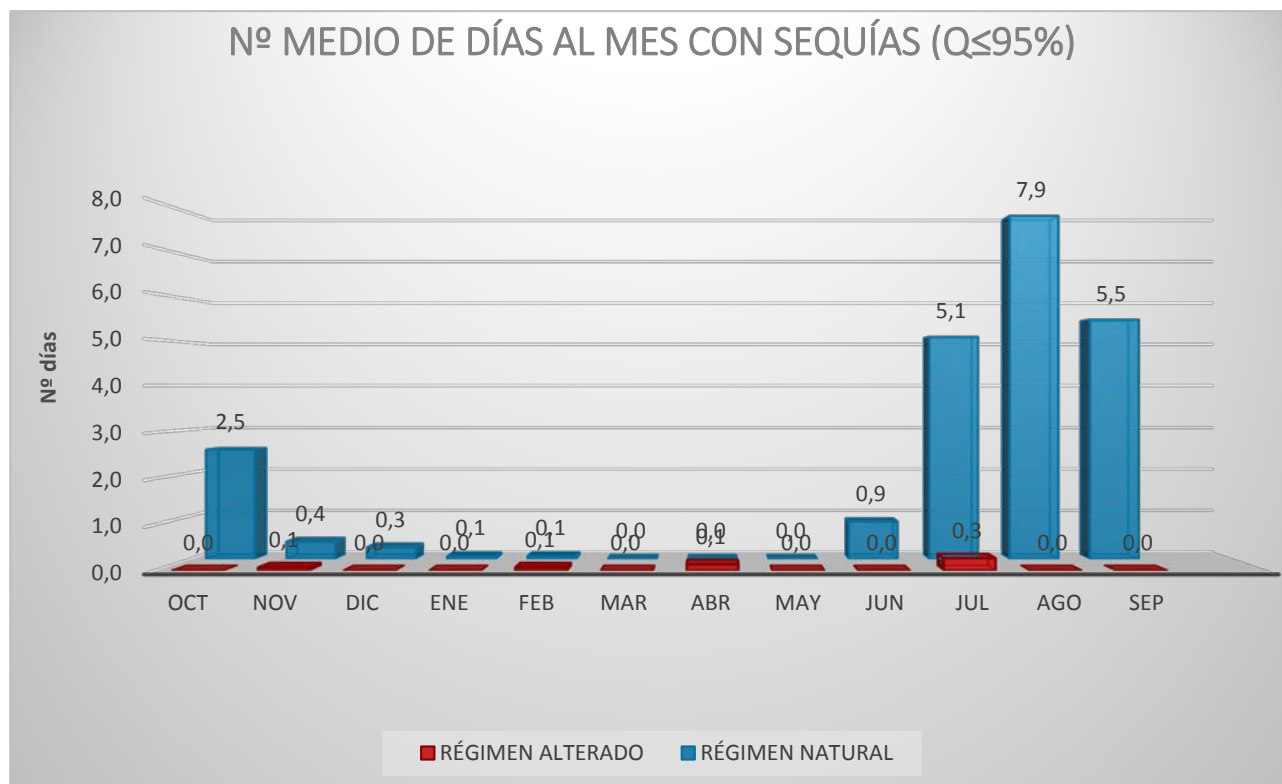


Figura 85. Estacionalidad de las sequías en ambos regímenes del tramo 1-2.
(Fuente: Elaboración propia)

9.3. ÍNDICES DE ALTERACIÓN HIDROLÓGICA

La evaluación de la **alteración hidrológica** aguas abajo del sistema de embalses del tramo medio del río Tera (Cernadilla, Valparaíso y Nuestra Señora del Agavanzal), se realizará aplicando los **Índices de Alteración Hidrológica**. Estos índices se han definido como cociente entre el valor del parámetro en régimen alterado y el valor de ese mismo parámetro en régimen natural. Por consiguiente, la caracterización de los regímenes natural y alterado (y la obtención de todos sus parámetros) es fase previa y necesaria para el cálculo de los índices de alteración.

Los índices, para homogeneizar y facilitar su interpretación, presentan valores acotados entre cero y uno, siendo el cero indicativo de alteración máxima y uno de ausencia de alteración. Se han establecido cinco niveles o Estatus Hidrológicos distribuidos linealmente en el rango en el que se mueven los índices, asignando el código de colores recogido en la siguiente Tabla.

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5
$0,8 < I \leq 1$	$0,6 < I \leq 0,8$	$0,4 < I \leq 0,6$	$0,2 < I \leq 0,4$	$0 < I \leq 0,2$

Tabla 73. Relación entre la valoración cuantitativa y cualitativa de los índices y la gama de colores asignados.
(Fuente: C. Martínez y J.A. Fernández, 2009)

Al igual que con los parámetros, los índices se desglosan en índices para valores habituales e índices para avenidas y sequías.

9.3.1. VALORES HABITUALES

La alteración en valores habituales se evalúa de modo independiente para cada tipo de año (húmedo, medio y seco), ofreciendo también la valoración para el año ponderado. Puede observarse que los resultados son muy diferentes de un tipo de año a otro.

En las páginas siguientes se refleja el informe número 7 de IAHRIS con la valoración de los índices de alteración de los valores habituales para cada tipo de año y los índices de alteración global:

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

ASPECTO		INDICES DE ALTERACIÓN HIDROLÓGICA (IAH)			NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	NIVEL IV	NIVEL V
		VALOR	CÓDIGO	DENOMINACIÓN	0,8 < I ≤ 1	0,6 < I ≤ 0,8	0,4 < I ≤ 0,6	0,2 < I ≤ 0,4	0 < I ≤ 0,2
VALORES HABITUALES AÑO HÚMEDO	magnitud	0,80	IAH1 húm	Magnitud de las aportaciones anuales					
		0,52 *	IAH2 húm	Magnitud de las aportaciones mensuales					
	variabilidad	0,68	IAH3 húm	Variabilidad habitual					
		0,59	IAH4 húm	Variabilidad extrema					
	estacionalidad	0,83	IAH5 húm	Estacionalidad de máximos					
		0,29	IAH6 húm	Estacionalidad de mínimos					
VALORES HABITUALES AÑO MEDIO	magnitud	0,74	IAH1 med	Magnitud de las aportaciones anuales					
		0,43 *	IAH2 med	Magnitud de las aportaciones mensuales					
	variabilidad	0,65	IAH3 med	Variabilidad habitual					
		0,57 **	IAH4 med	Variabilidad extrema					
	estacionalidad	0,52	IAH5 med	Estacionalidad de máximos					
		0,33	IAH6 med	Estacionalidad de mínimos					
VALORES HABITUALES AÑO SECO	magnitud	0,78	IAH1 sec	Magnitud de las aportaciones anuales					
		0,43 *	IAH2 sec	Magnitud de las aportaciones mensuales					
	variabilidad	0,47	IAH3 sec	Variabilidad habitual					
		0,37	IAH4 sec	Variabilidad extrema					
	estacionalidad	0,42	IAH5 sec	Estacionalidad de máximos					
		0,21	IAH6 sec	Estacionalidad de mínimos					
VALORES HABITUALES AÑO PONDERADO	magnitud	0,76	IAH1 pon	Magnitud de las aportaciones anuales					
		0,45	IAH2 pon	Magnitud de las aportaciones mensuales					
	variabilidad	0,60	IAH3 pon	Variabilidad habitual					
		0,52	IAH4 pon	Variabilidad extrema					
	estacionalidad	0,57	IAH5 pon	Estacionalidad de máximos					
		0,29	IAH6 pon	Estacionalidad de mínimos					

* Inverso ** Indeterminación *** Inverso e Indeterminación # No se puede calcular

ÍNDICES DE ALTERACIÓN GLOBAL				NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	NIVEL IV	NIVEL V
ASPECTO	VALOR	CÓDIGO		0,64 < I ≤ 1	0,36 < I ≤ 0,64	0,16 < I ≤ 0,36	0,04 < I ≤ 0,16	0 < I ≤ 0,04
VALORES HABITUALES AÑO HÚMEDO	0,38	IAG _H AÑO HÚMEDO						
VALORES HABITUALES AÑO MEDIO	0,29	IAG _H AÑO MEDIO						
VALORES HABITUALES AÑO SECO	0,19	IAG _H AÑO SECO						
VALORES HABITUALES AÑO PONDERADO	0,29	IAG _H AÑO PONDERADO						

Tabla 74. Índices de alteración hidrológica y de alteración global para valores habituales del tramo 1-2.
(Fuente: Informe nº7 de IAHRIS)

En los **años húmedos** la variable más afectada del río es la estacionalidad de mínimos que en régimen alterado existe una gran variación en la estacionalidad con respecto al régimen natural, no sintonizándose adecuadamente con los ciclos vitales de las numerosas especies del lugar. La estacionalidad de máximos apenas se ve alterada manteniéndose, como anteriormente se ha explicado, sincronía con los ciclos vitales faunísticos y vegetativos. Pero cuando se trata de la estacionalidad de los mínimos, resulta realmente afectada. La variabilidad extrema también resulta afectada, aunque esta se mantiene en un rango lógico en el régimen alterado (la variabilidad intranual es significativa, lo mismo ocurre con la interanual que aunque ha disminuido no se ha visto realmente afectada). La magnitud de las aportaciones mensuales de los años húmedos en general queda bastante reducida en régimen alterado, en torno a una reducción del 25%. Las magnitudes no resultan realmente afectadas, en cuanto a aportaciones anuales. Algo similar ocurre con la variabilidad habitual, la cual no resulta significativamente alterada.

Tanto en los **años medios** como en los **secos** la variable más afectada del río es la estacionalidad de los mínimos. La variabilidad extrema también resulta afectada: la intranual se ha visto realmente afectada,



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

marcando sus máximos caudales en meses de verano. En régimen alterado ocurre como en años húmedos se ha explicado. De nuevo, la variable menos afectada es la magnitud de las aportaciones anuales, mientras que las mensuales (como ocurre en años húmedos) se ven más afectadas. Además en años medios la variabilidad habitual se encuentra en un estado bueno, sin sufrir significativos cambios.

A modo de conclusión, se conoce a través de los resultados globales mostrados en la Tabla anterior que el Estatus Hidrológico del río Tera en el tramo de embalses señalado es el correspondiente con el **nivel III**, si bien es posible apreciar que para el año húmedo dicho Estado pertenece al **nivel II**.

9.3.2. AVENIDAS

ASPECTO		INDICES DE ALTERACIÓN HIDROLÓGICA (IAH)			NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	NIVEL IV	NIVEL V
		VALOR	CÓDIGO	DENOMINACIÓN	$0,8 < I \leq 1$	$0,6 < I \leq 0,8$	$0,4 < I \leq 0,6$	$0,2 < I \leq 0,4$	$0 < I \leq 0,2$
AVENIDAS	magnitud	0,58	IAH7	Magnitud de las avenidas máximas					
		0,81	IAH8	Magnitud del caudal generador del lecho					
		0,31 *	IAH9	Frecuencia del caudal de conectividad					
		0,76	IAH10	Magnitud de las avenidas habituales					
	variabilidad	0,78 *	IAH11	Variabilidad de las avenidas máximas					
		0,71 *	IAH12	Variabilidad de las avenidas habituales					
	duración	0,62	IAH13	Duración de avenidas					
	estacionalidad	0,84	IAH14	Estacionalidad de avenidas					

* Inverso ** Indeterminación *** Inverso e Indeterminación # No se puede calcular

Tabla 75. Índices de alteración hidrológica para avenidas del tramo 1-2.
(Fuente: Informe nº7 de IAHRIIS)

El aspecto más alterado de las avenidas es la frecuencia del caudal de conectividad con un valor de 0,31, lo cual implica un **nivel IV**. Otro de los aspectos más alterados, aunque en menor medida que el anterior, es la magnitud de las avenidas máximas (valor del índice de 0,68) con un **nivel III**. Esto se refleja en el estudio previo, en el cual se menciona que las magnitudes de las avenidas máximas anuales se ven disminuidas en un 41,6%.

El resto de parámetros evaluados (caudal generador del lecho, magnitud de avenidas habituales, variabilidad avenidas máximas y habituales, duración y estacionalidad) se encuentran en el **nivel II**, como puede apreciarse en la Tabla 75.

El índice global de avenidas obtiene un valor de 0,42, **nivel II** (véase Tabla 76). En el siguiente gráfico se comparan, de manera muy visual, los valores de los índices de alteración con el valor del régimen natural, al que se le asigna el valor 1 (sin alteración):

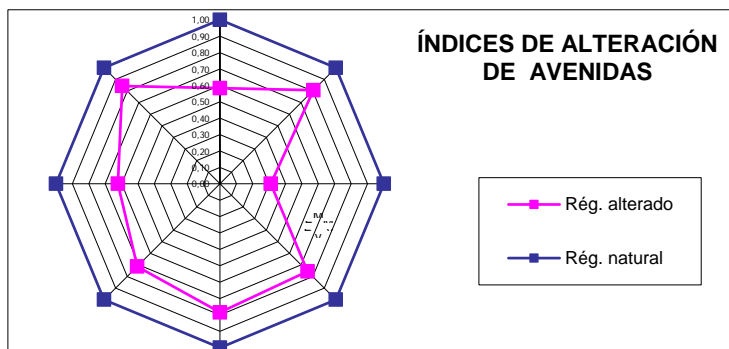


Figura 86. Índices de alteración hidrológica para avenidas del tramo 1-2.
(Fuente: Informe nº 7 de IAHRIIS)

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

ÍNDICES DE ALTERACIÓN GLOBAL			NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	NIVEL IV	NIVEL V
ASPECTO	VALOR	CÓDIGO	$0,64 < I \leq 1$	$0,36 < I \leq 0,64$	$0,16 < I \leq 0,36$	$0,04 < I \leq 0,16$	$0 < I \leq 0,04$
AVENIDAS	0,42	IAG _A					

Tabla 76. Índices de alteración global para avenidas del tramo 1-2.
(Fuente: Informe nº7 de IAHRIS)

9.3.3. SEQUÍAS

ASPECTO		ÍNDICES DE ALTERACIÓN HIDROLÓGICA (IAH)			NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	NIVEL IV	NIVEL V
		VALOR	CÓDIGO	DENOMINACIÓN	$0,8 < I \leq 1$	$0,6 < I \leq 0,8$	$0,4 < I \leq 0,6$	$0,2 < I \leq 0,4$	$0 < I \leq 0,2$
SEQUÍAS	magnitud	0,15 *	IAH15	Magnitud de las sequías extremas					
		0,32 *	IAH16	Magnitud de las sequías habituales					
	variabilidad	0,34	IAH17	Variabilidad de las sequías extremas					
		0,11	IAH18	Variabilidad de las sequías habituales					
	duración	0,03	IAH19	Duración de sequías					
		0,99	IAH20	Nº de días con Q=0					
	estacionalidad	0,68	IAH21	Estacionalidad de sequías					

* Inverso ** Indeterminación *** Inverso e Indeterminación # No se puede calcular

Tabla 77. Índices de alteración hidrológica para sequías del tramo 1-2.
(Fuente: Informe nº7 de IAHRIS)

Respecto a sequías, la situación es algo más grave puesto que cinco de los siete aspectos estudiados (magnitud de las sequías extremas, y de las sequías habituales y duración) cinco se caracterizan por pertenecer a grupos de Estatus inferiores al **nivel III**, tres de los cuales corresponden al **nivel V**.

Como puede observarse en la Tabla 77, los campos más afectados por la alteración son la magnitud de las sequías extremas (que como antes se ha explicado, disminuye en un 50%), la variabilidad de las sequías habituales y la duración de las sequías.

El índice de alteración global en sequías se especifica en la Tabla 78 y toma un valor de 0,12, **nivel IV**. De la misma manera que en avenidas, en el siguiente gráfico se puede observar visualmente la comparación entre los dos regímenes, obteniendo la visión global de la alteración, dando el valor 1 al régimen natural y enfrentándolo a los valores de los índices del régimen alterado. Se puede observar fácilmente la mayor alteración de las sequías (**nivel IV**) respecto a las avenidas (**nivel III**):

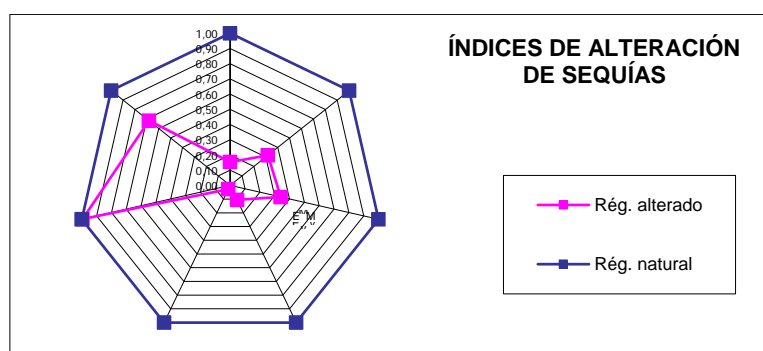


Figura 87. Índices de alteración hidrológica para sequías del tramo 1-2.
(Fuente: Informe nº 7 de IAHRIS)

ÍNDICES DE ALTERACIÓN GLOBAL			NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	NIVEL IV	NIVEL V
ASPECTO	VALOR	CÓDIGO	$0,64 < I \leq 1$	$0,36 < I \leq 0,64$	$0,16 < I \leq 0,36$	$0,04 < I \leq 0,16$	$0 < I \leq 0,04$
SEQUÍAS	0,12	IAG _S					

Tabla 78. Índices de alteración global para sequías del tramo 1-2.
(Fuente: Informe nº7 de IAHRIS)

9.4. ANÁLISIS HIDROLÓGICO (MÉTODO IHA)

Un vez analizados mediante IAHRIS los datos hidrológicos del régimen natural y el alterado y habiendo evaluado la alteración de estos resulta interesante realizar dicho análisis con una herramienta distinta: el software IHA de Richter et. al. De esta manera se conoce de forma más detallada el grado de alteración del sistema fluvial en el tramo 1-2.

Los resultados que se presentan a continuación son consecuencia tanto de un análisis paramétrico de los datos pertenecientes a las siguientes estaciones de aforo y/o embalse:

RÉGIMEN NATURAL Pre-impacto		RÉGIMEN ALTERADO Post-impacto		PROCESO
Estación	Periodo	Estación	Periodo	Comparación de dos estaciones
2144 (transformados los datos)	1995-2010 (15 años)	2034	1995-2010 (15 años)	

Tabla 79. Datos disponibles en régimen natural y alterado para el Estudio del tramo 1-2 con IHA.
(Fuente: Elaboración propia)

El proceso seguido consiste en la comparación de los datos naturales y alterados, de manera que a los primeros se les designa como datos anteriores al impacto (pre-impacto) y a los segundos como posteriores (post-impacto).

9.4.1. MAGNITUD DE LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS MENSUALES

La magnitud de las condiciones hidrológicas mensuales constituye el primer grupo de parámetros IHA.

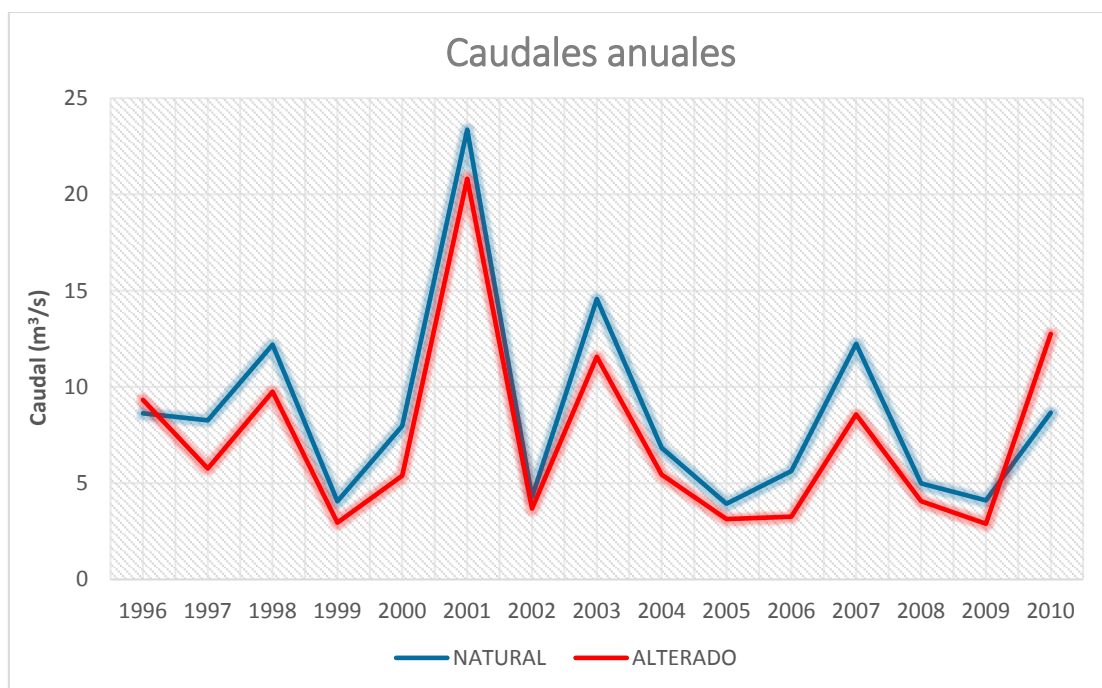


Figura 88. Caudales anuales en régimen natural y alterado entre 1996 y 2010 del tramo 1-2.
(Fuente: Elaboración propia)

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

IHA no trabaja con tipos de año, al contrario que IAHRIS (que realiza la caracterización hidrológica por tipos de año: húmedos, medios y secos) ofrece una valoración conjunta de los años estudiados. En la Figura 87 se incluyen los caudales anuales para ambos regímenes en los 15 años analizados.

Como se puede observar en la Figura 88, los caudales anuales se ven disminuidos en el régimen alterado, siendo la magnitud de estos caudales un aspecto alterado.

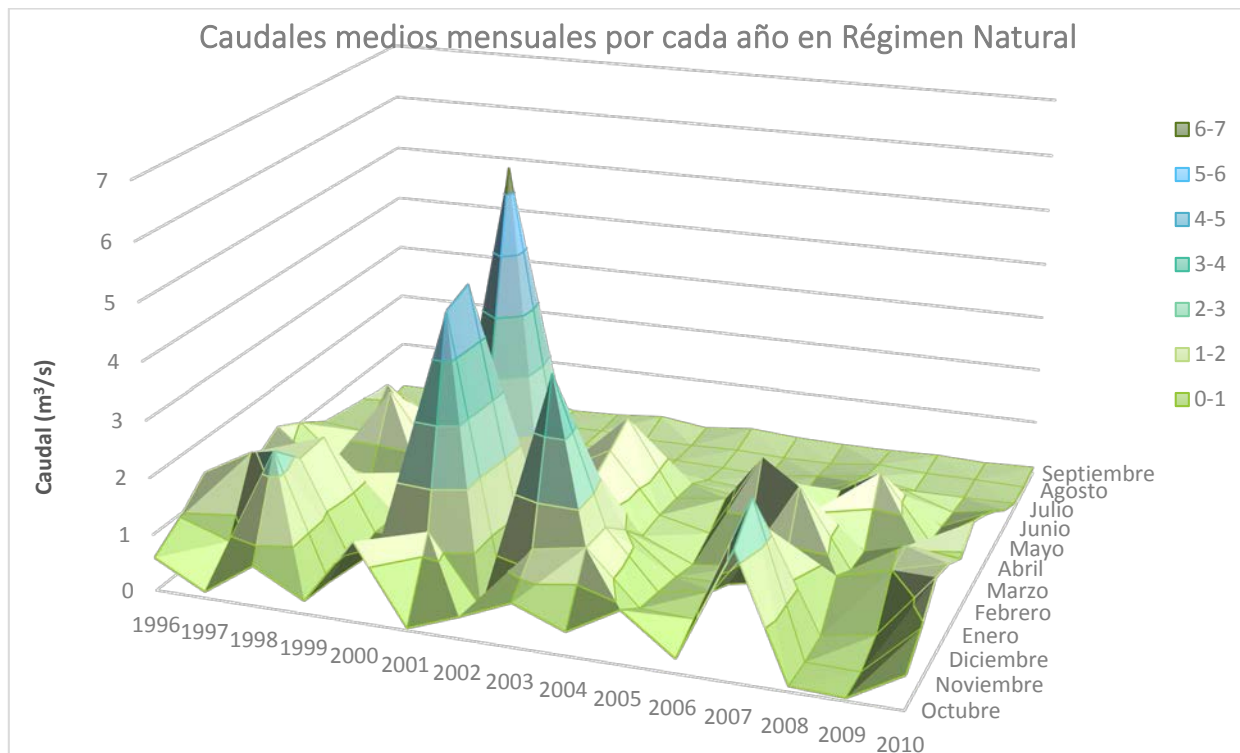


Figura 89. Caudales medios mensuales por cada año en régimen natural del tramo 1-2
(Fuente: Elaboración propia)

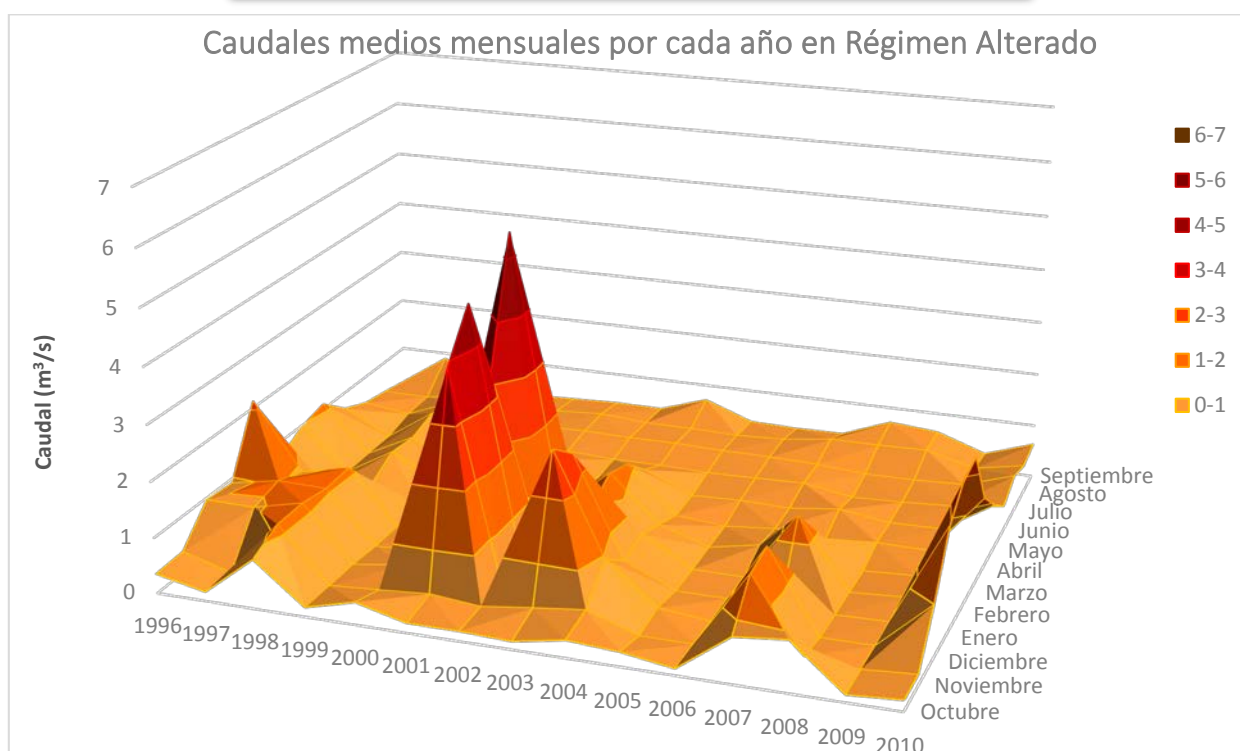


Figura 90. Caudales medios mensuales por cada año en régimen alterado del tramo 1-2.
(Fuente: Elaboración propia)

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

Otro aspecto adicional de este análisis es la información del caudal medio mensual para cada año estudiado. En las Figuras 89 y 90 es posible observar que los mayores caudales se originan en el año 2001 entre los meses de diciembre y abril, tanto para régimen natural como alterado. La magnitud se reduce, de forma general, en un 15% aproximadamente; en algunos casos la magnitud aumenta en el régimen alterado, aunque no resulta trascendente. Las pautas de variabilidad se mantienen, sin embargo, similares.

PARÁMETROS EVALUADOS	MEDIAS (m ³ /s)		FACTOR DE DESVIACIÓN	
	RÉGIMEN NATURAL	RÉGIMEN ALTERADO	Magnitud (m ³ /s)	Porcentaje (%)
Octubre	0,587	0,351	-0,236	-40,21
Noviembre	0,941	0,373	-0,568	-60,36
Diciembre	1,399	0,963	-0,437	-31,23
Enero	1,244	0,916	-0,329	-26,4
Febrero	0,951	0,915	-0,036	-3,744
Marzo	1,239	0,880	-0,358	-28,93
Abril	0,982	0,525	-0,457	-46,54
Mayo	0,677	0,527	-0,150	-22,11
Junio	0,337	0,410	0,073	21,74
Julio	0,111	0,472	0,361	324,5
Agosto	0,074	0,476	0,403	547
Septiembre	0,110	0,486	0,376	343,1

*La Magnitud perteneciente al Factor de Desviación indica la diferencia entre el régimen natural y el alterado (valor régimen natural – valor régimen alterado). El Porcentaje es el cociente entre la Magnitud y el valor del régimen natural.

Tabla 80. Caudales medios mensuales en ambos regímenes del tramo 1-2 (grupo de parámetros 1).
(Fuente: Elaboración propia mediante Tabla de resultados de IHA paramétricos)

En la Tabla anterior figuran los valores de los caudales medios mensuales para régimen natural y alterado, así como el factor de desviación de los datos que mide el porcentaje de variación entre los valores naturales y alterados (los valores positivos indican un aumento del caudal, mientras que los negativos el descenso de este). A partir de los resultados expuestos en la Tabla 79 se conoce que el mes de mayor variación entre natural y alterado es agosto, que se ve realmente modificado aumentándose el caudal medio de forma drástica, en el mes de noviembre ocurre lo mismo pero en este caso el caudal se ha visto disminuido. Resulta interesante observar que los meses en los que el caudal ha descendido presentan un porcentaje de variación menor que los meses en los que ha aumentado.

En la siguiente Tabla se presentan los máximos y los mínimos de las crecidas (porcentajes positivos del factor de desviación: en el régimen alterado se ha aumentado el caudal medio) y de las disminuciones (porcentajes negativos del factor de desviación: se ha disminuido el caudal medio en el régimen alterado):

CRECIDA		DISMINUCIÓN	
Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
%: 547 Mes: agosto	%: 21,74 Mes: junio	%: -60,36 Mes: noviembre	%: -3,74 Mes: febrero

Tabla 81. Porcentajes del factor de desviación máximos y mínimos de las crecidas y las disminuciones del tramo 1-2.
(Fuente: Elaboración propia mediante Tabla de resultados de IHA paramétricos)

A través de la Figura 91 se aprecia lo anteriormente comentado: en el mes de agosto se produce la mayor alteración de los ascensos de los caudales en el régimen alterado y en el mes de noviembre la mayor alteración cuando el caudal se ve disminuido. Los meses de febrero, junio y mayo son los que menos difieren entre un régimen y otro.



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

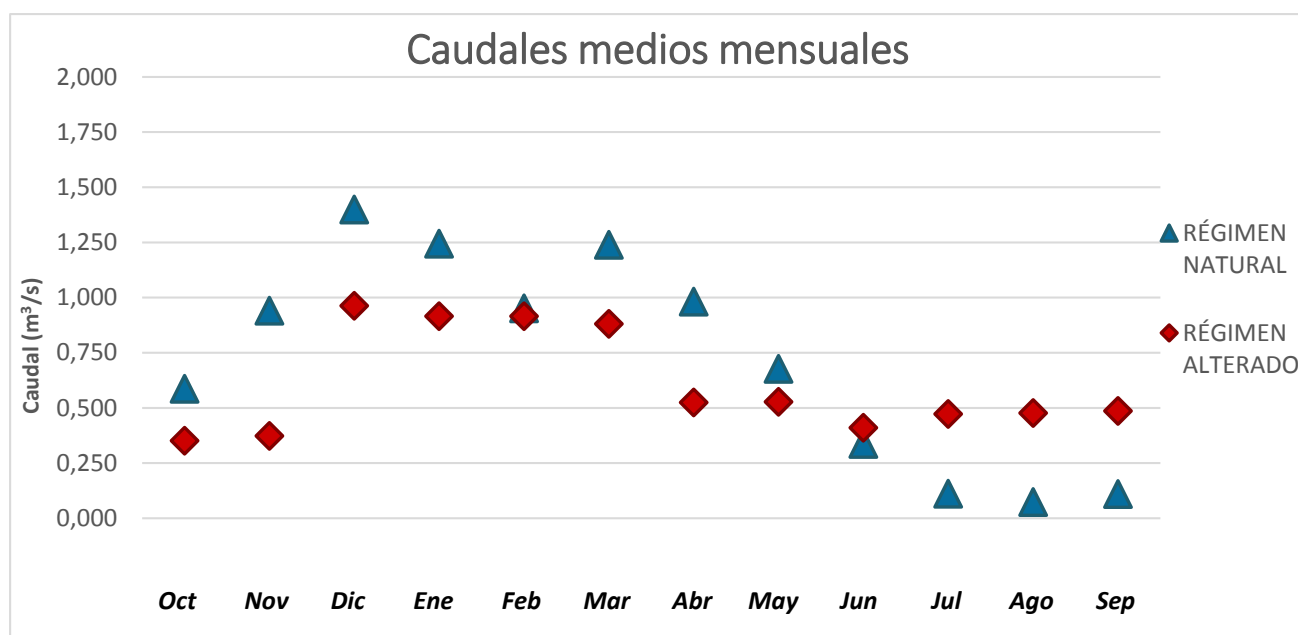


Figura 91. Caudales medios mensuales en ambos regímenes del tramo 1-2.
(Fuente: Elaboración propia)

9.4.2. MAGNITUD Y DURACIÓN DE LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS EXTREMAS ANUALES

La magnitud y duración de las condiciones hidrológicas extremas (máximos y mínimos) constituyen el segundo grupo de parámetros IHA. La evaluación de la magnitud de las condiciones extremas del caudal (máximos y mínimos) se realiza mediante el conocimiento del mínimo o máximo anual de la media de 1, 3, 7, 30 y 90 días tanto para régimen natural como para el alterado. En base al análisis paramétrico realizado por IHA es posible apreciar la modificación de tal magnitud entre regímenes:

PARÁMETROS EVALUADOS	MEDIAS (m³/s)		FACTOR DE DESVIACIÓN	
	RÉGIMEN NATURAL	RÉGIMEN ALTERADO	Magnitud (m³/s)	Porcentaje (%)
1-día mínimo	0,013	0,082	0,069	550,7
3-días mínimo	0,023	0,106	0,083	363,6
7-días mínimo	0,030	0,122	0,092	302,5
30-días mínimo	0,053	0,159	0,106	200,7
90-días mínimo	0,089	0,262	0,172	193,1
1-día máximo	8,197	4,782	-3,415	-41,66
3-días máximo	5,659	4,047	-1,612	-28,49
7-días máximo	3,96	3,054	-0,907	-22,9
30-días máximo	2,404	1,797	-0,607	-25,24
90-días máximo	1,615	1,227	-0,389	-24,06
Número días cero caudal	0,2	0,267	0,067	33,33
Índice caudal base	0,049	0,2724	0,224	460,6

*La Magnitud perteneciente al Factor de Desviación indica la diferencia entre el régimen natural y el alterado (valor régimen natural – valor régimen alterado). El Porcentaje es el cociente entre la Magnitud y el valor del régimen natural.

Tabla 82. Resultados IHA para el grupo 2 de parámetros en ambos regímenes del tramo 1-2.
(Fuente: Elaboración propia mediante Tabla de resultados de IHA paramétricos)



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

La Tabla anterior permite llegar a las siguientes conclusiones:

Respecto a los **valores mínimos**, todos los caudales calculados experimentan un incremento de 550% a 193%, lo cual quiere decir que estos caudales mínimos se han visto extremadamente modificados en el régimen alterado. En concreto, el valor más afectado es el diario que aumenta de 0,01 a 0,08 m³/s, el valor trimestral (mínimo de 90 días) es el menos alterado de los mínimos, aunque también varía considerablemente.

En cuanto a los **valores máximos**, los caudales calculados de todos ellos decrecen entre un -41% a -22%. Estos porcentajes del factor de desviación no son tan elevados como en el caso de los mínimos por lo que cabe esperar que la alteración de los máximos sea menor. No obstante, y considerado que la afección de los máximos es menor, el parámetro que más varía de un régimen a otro es también el diario, que resulta disminuido prácticamente a la mitad (de 8,19 a 4,78 m³/s). En este caso el parámetro menos afectado dentro del grupo de los máximos es el semanal.

El **número de días de caudal nulo** se presenta también en la Tabla 81. Los días de caudal nulo para año se reparten en un día en los años 2000, 2001 y 2009 en el régimen natural, y en el alterado esto cambia a un día en 1999 y 3 en 2001 (véase Figura 91), a partir de estos resultados se permite afirmar que la alteración es nula. Observando la Figura 91 se conoce que la media de ambos regímenes es similar, además en el régimen natural la tendencia de la aparición de los datos se encuentra por debajo de dicha media, al igual que en el régimen alterado. A pesar de la inexistente alteración de este parámetro, es posible apreciar en la Figura 91 que la desviación estándar del régimen alterado es mucho mayor que la del natural, es decir, los datos se encuentran más dispersos entre sí y por tanto la variación de estos valores en cuanto a sus máximos y mínimos es elevada.

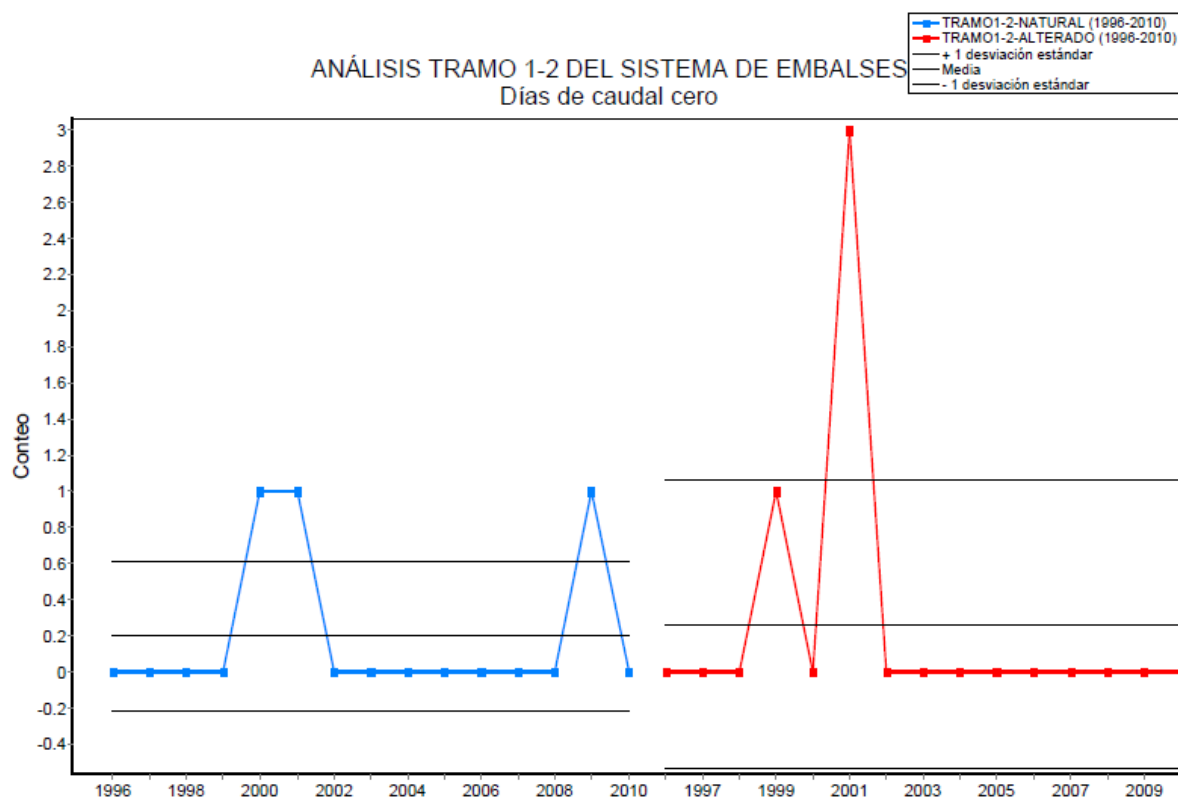


Figura 92. Días de caudal cero en ambos regímenes del tramo 1-2.
(Fuente: IHA)

El llamado **Índice caudal base** se corresponde con la siguiente expresión:



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

mínimo 7 días
caudal medio anual

Ecuación 5. Índice caudal base del tramo 1-2. (Fuente: Manual de usuario de IHA 7.1)

Se observa en la Figura 93 que aumenta considerablemente en el régimen alterado debido a que el caudal mínimo anual de medias de 7 días es mayor en este régimen. En la Figura del Índice del flujo de base se aprecia la brusquedad de ascensos y descensos de este para régimen alterado, alcanzando valores muy elevados para un año y reduciéndose a más de la mitad en el siguiente, el rango en el que varía este índice es de 0,06 a 0,7 aproximadamente; mientras que en régimen natural este índice se considera más constante en el tiempo, a pesar de algunas fluctuaciones significativas se mantiene en un rango de 0 a 0,1.

En la Figura 93 se aprecia también que la media se ve extremadamente modificada entre regímenes, además la desviación estándar de los datos es también mucho mayor en el régimen alterado. Los datos del régimen natural tienden a aparecer por debajo de la media, son muy pocos los que la superan; en cambio, en el régimen alterado, los valores fluctúan apareciendo de manera igualitaria por encima y por debajo de la media.

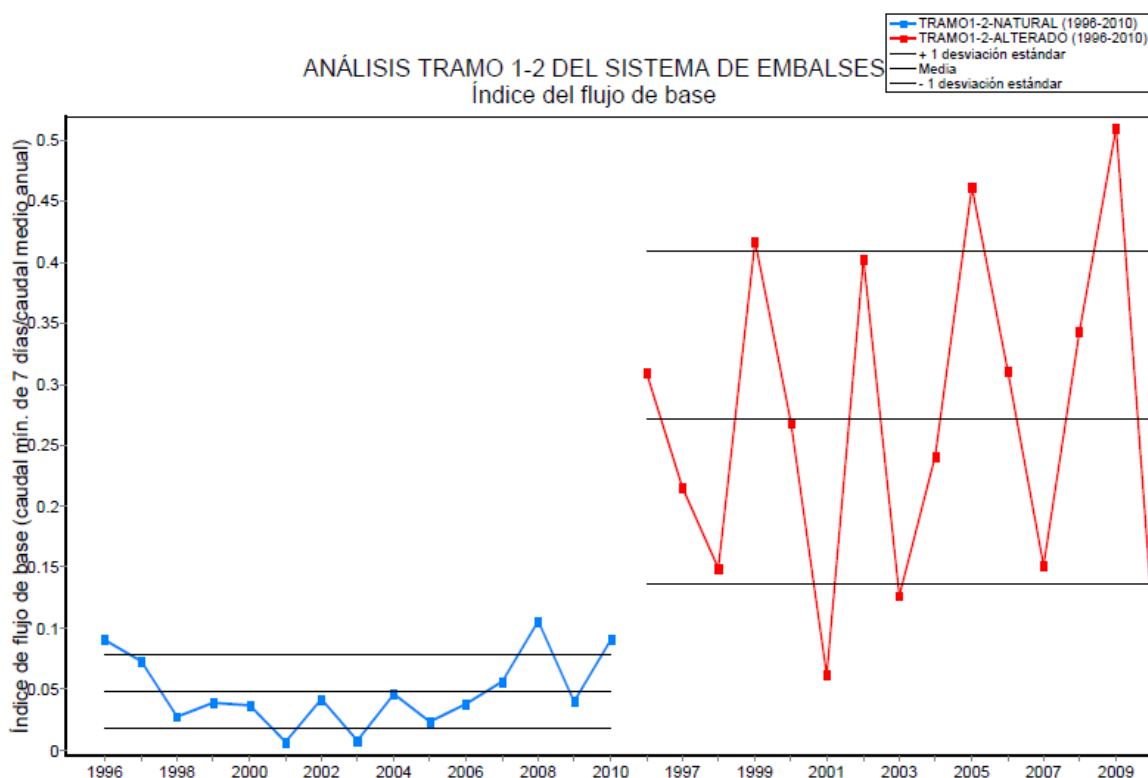


Figura 93. Índice de flujo de base en ambos regímenes del tramo 1-2. (Fuente: IHA)

9.4.3. TEMPORALIDAD DE LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS EXTREMAS ANUALES

La temporalidad de las condiciones extremas del caudal (máximos y mínimos) compone el tercer grupo de parámetros IHA. Aunque este grupo aporte información poco relevante respecto a IAHRS se expone en este epígrafe los resultados obtenidos, estimando el mes en el que se originan estos caudales extremos. Mediante el análisis paramétrico realizado se conoce la fecha exacta en la que se origina tanto caudal mínimo como el máximo. En la Tabla 83 se incluyen las medias del día correspondiente al año juliano de ambos caudales:



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

TEMPORALIDAD DE CAUDALES EXTREMOS				
PARÁMETROS EVALUADOS	RÉGIMEN NATURAL	RÉGIMEN ALTERADO	FACTOR DE DESVIACIÓN	
			Magnitud (día)	Porcentaje (%)
Fecha Q_{MIN}	Día año juliano: 206,8 Mes: julio	Día año juliano: 289,8 Mes: octubre	83	45,36
Fecha Q_{MAX}	Día año juliano: 343,7 Mes: diciembre	Día año juliano: 349,9 Mes: diciembre	6,2	3,388

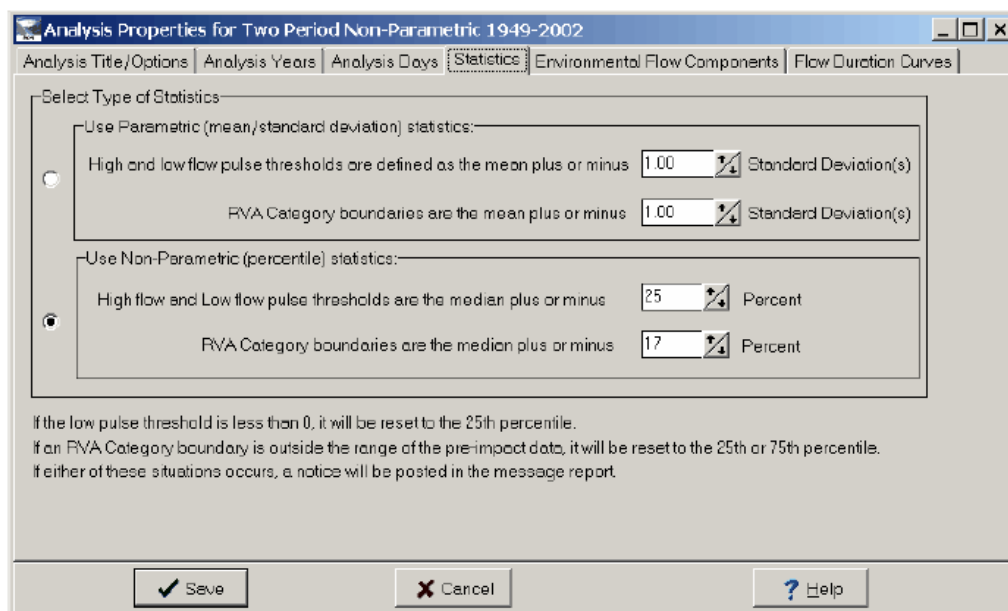
*La Magnitud perteneciente al Factor de Desviación indica la diferencia entre el régimen natural y el alterado (valor régimen natural – valor régimen alterado). El Porcentaje es el cociente entre la Magnitud y el valor del régimen natural.

*Tabla 83. Resultados IHA de evaluación de temporalidad de caudales extremos en ambos regímenes del tramo 1-2.
(Fuente: Elaboración propia mediante Tabla de resultados de IHA paramétricos)*

A través de la Tabla anterior es posible concluir que la variación de la fecha en que se suceden los caudales mínimos es bastante apreciable, mediante el factor de desviación se conoce que los datos del régimen natural y el alterado difieren significativamente ya que mientras en el régimen natural este caudal tiene lugar en julio como cabe esperar, en el régimen alterado este caudal se presenta en octubre. En cambio, la temporalidad de los caudales máximos apenas resulta alterada, puesto que el mayor caudal se origina en el mes de diciembre para ambos regímenes.

9.4.4. FRECUENCIA Y DURACIÓN DE LOS PULSOS ALTOS Y BAJOS

Un día se clasifica como pulso bajo o alto si es menor o mayor, respectivamente, que un umbral especificado. En el presente análisis los pulsos quedan definidos por defecto, tal y como se especifica en la Figura 93. De forma que, el umbral de pulsos bajos es de 0,11 m³/s y el de los pulsos altos de 0,89 m³/s.



*Figura 94. Análisis mediante software IHA en la pestaña de Statistics.
(Fuente: IHA)*

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

FRECUENCIA DE PULSOS BAJOS Y ALTOS				
	RÉGIMEN NATURAL	RÉGIMEN ALTERADO	Factor de desviación	
			Magnitud (nº pulsos)	Porcentaje (%)
Nº pulsos bajos	18,4	4,06	-14,33	-77,9
Nº pulsos altos	6,06	2	-4,067	-67,03

*La Magnitud perteneciente al Factor de Desviación indica la diferencia entre el régimen natural y el alterado (valor régimen natural – valor régimen alterado). El Porcentaje es el cociente entre la Magnitud y el valor del régimen natural.

Tabla 84. Resultados IHA de evaluación de la frecuencia de pulsos bajos y altos en ambos regímenes del tramo 1-2.
(Fuente: Elaboración propia mediante Tabla de resultados de IHA paramétricos)

La Tabla 84 muestra las medias calculadas por IHA de los días en que se producen pulsos altos y bajos en los 15 años de análisis. El factor de desviación expone que los datos de ambos regímenes difieren entre ellos considerablemente en el caso de los pulsos bajos. En el caso de pulsos altos ocurre algo similar, aunque la alteración es menor que en los pulsos bajos, ya que se produce una variación del 67% frente a una del 78%.

En la Figura 95 se puede apreciar el número de pulsos bajos anuales y en la Figura 6 el número de pulsos altos. Además en esta Figura se muestran las barras de ascenso (blancas) y descenso (grises) del número de días de pulsos bajos entre los dos regímenes, de esta forma se aprecia claramente las variaciones.

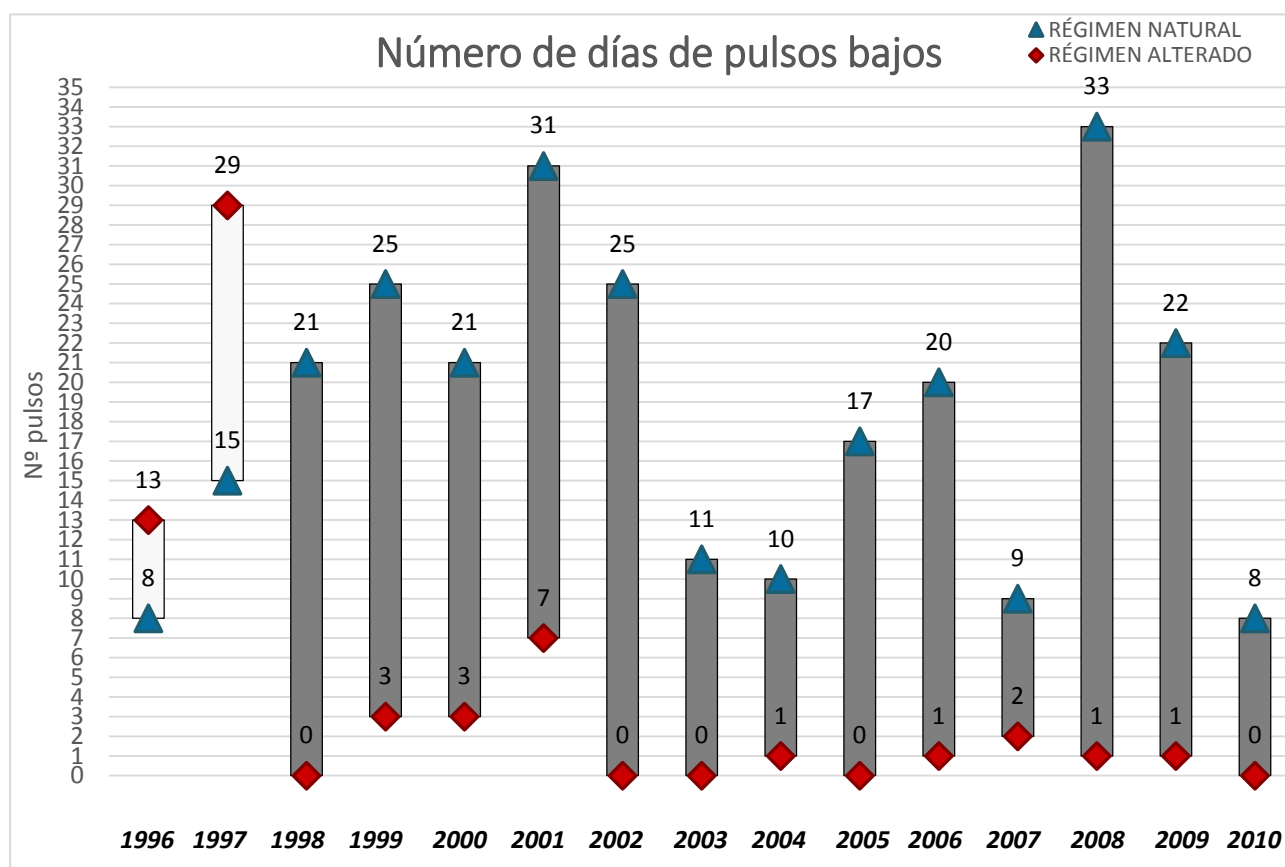


Figura 95. Número de pulsos bajos anuales en ambos regímenes del tramo 1-2.
(Fuente: Elaboración propia)

Los pulsos bajos muestran su mayor alteración en el año 2008, donde disminuyen desde 33 días en régimen natural hasta 1 en el alterado. El año menos alterado con respecto a los pulsos bajos es 1996, en el que en régimen natural constan 8 días mientras que en el alterado estos aumentan a 13. En la mayoría de los años

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

el número de días de pulsos bajos resulta disminuido con respecto al régimen natural, sólo en los dos primeros años del análisis se aprecia el aumento de estos pulsos.

El año en el cual se produce más variación de los días de pulso alto entre regímenes es 1998, en este año se produce una disminución de 15 a 1 día lo cual supone un cambio a tener en cuenta pero no de forma significativa. Los años en los que se presentan menos cambios entre regímenes son 1999 y 2001, en los cuales se reduce y aumenta un día de pulsos altos en régimen alterado, respectivamente. Es curioso contemplar que en la mayoría de los años los pulsos altos se han visto reducidos en régimen alterado, tan sólo en 2001 y 2010 estos han aumentado, aunque no drásticamente.

Resulta interesante observar que el número de días de pulsos bajos es mayor que el de los altos, es decir, es mayor el número de los caudales que se encuentran por debajo de $0,11 \text{ m}^3/\text{s}$ que el número de caudales que superan $0,89 \text{ m}^3/\text{s}$.

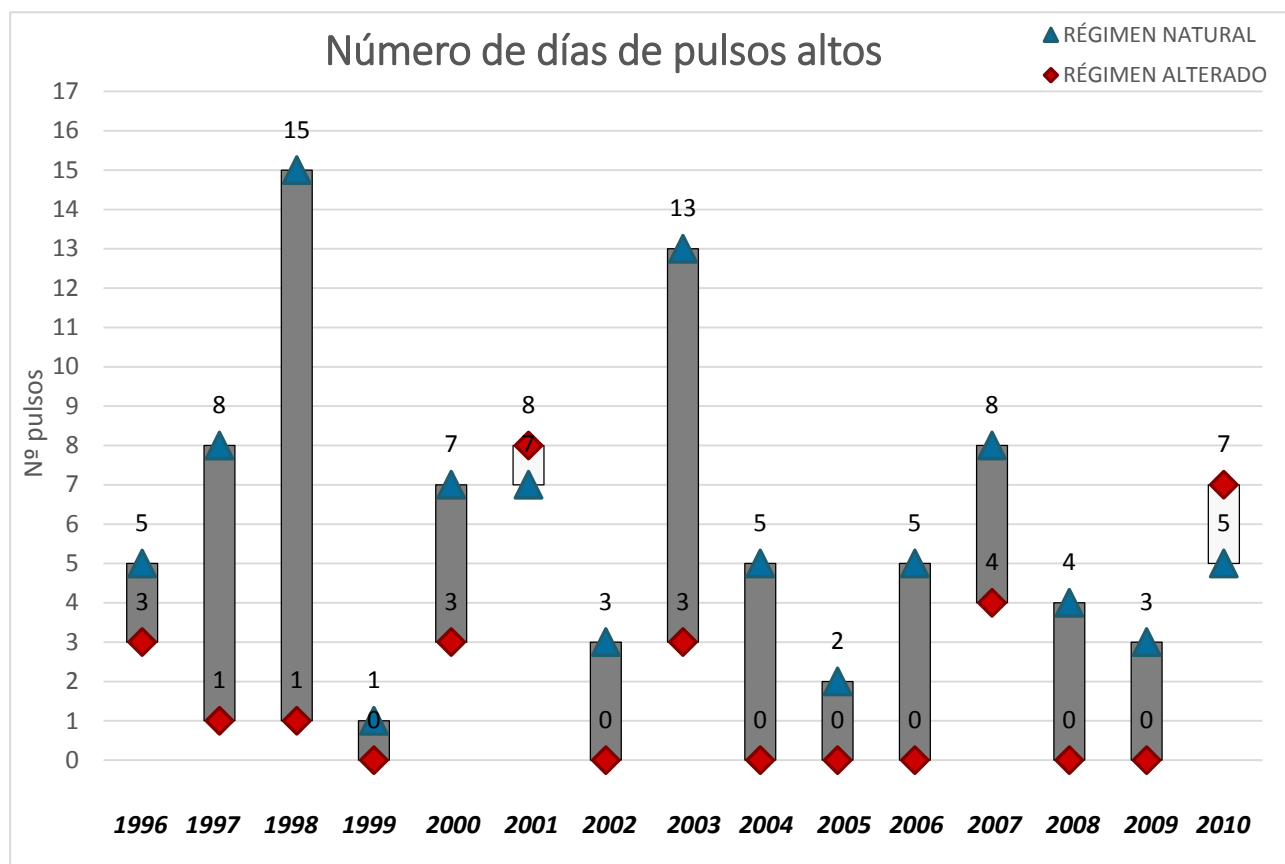


Figura 96. Número de pulsos altos anuales en ambos regímenes del tramo 1-2.
(Fuente: Elaboración propia)

En cuanto a la duración de los pulsos, aunque se producen cambios en los regímenes, esta duración resulta menos afectada que la frecuencia estudiada anteriormente. La duración de los pulsos bajos disminuye en el régimen natural, aunque no de forma notoria: en la Tabla 85 se puede observar que esta duración disminuye de 5 días a 3. En cambio, la duración de los pulsos altos es mayor en el régimen alterado aunque esta variación no es de elevada importancia.

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

DURACIÓN DE PULSOS BAJOS Y ALTOS				
	RÉGIMEN NATURAL	RÉGIMEN ALTERADO	Factor de desviación	
			Magnitud (nº pulsos)	Porcentaje (%)
<i>Pulsos bajos</i>	5,611	3,883	-1,728	-30,8
<i>Pulsos altos</i>	3,885	4,658	0,773	19,9

*La Magnitud perteneciente al Factor de Desviación indica la diferencia entre el régimen natural y el alterado (valor régimen natural – valor régimen alterado). El Porcentaje es el cociente entre la Magnitud y el valor del régimen natural.

Tabla 85. Resultados IHA de evaluación de la duración de pulsos bajos y altos en ambos regímenes del tramo 1-2. (Fuente: Elaboración propia mediante Tabla de resultados de IHA paramétricos)

A través de la Tabla 85 se corrobora lo anteriormente explicado: la duración de los pulsos bajos se ve reducida y la de los pulsos altos aumenta en el régimen alterado. La duración de los primeros sufre mayor afección, tal y como muestra el porcentaje del factor de desviación.

9.4.5. TASA Y FRECUENCIA DE LOS CAMBIOS DE LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS

Las inversiones (en el grupo de parámetros 5) se calculan dividiendo el registro hidrológico en períodos de “crecimiento” y “decrecimiento”, que corresponden a períodos en los cuales los cambios diarios en los caudales son positivos o negativos, respectivamente. Es necesario tener en cuenta que un período de crecimiento o decrecimiento no termina con un par de días de caudal constante, sino sólo por un cambio de signo en la tasa de variación. Es decir, las inversiones son las veces que en el año la tendencia del caudal cambia.

El número de inversiones es el número de veces que el caudal cambia de un tipo de período al otro. Las inversiones se analizan por año hidrológico, y por lo tanto el primer cambio de caudal del año hidrológico no puede contarse como inversión, dado que no existe una tendencia de crecimiento o decrecimiento antes del mismo.

A través del análisis paramétrico de los datos hidrológicos se conoce que la tasa de subida se ha visto reducida en el régimen alterado, así como la tasa de descenso.

TASA Y FRECUENCIA DE INVERSAS DEL CAUDAL				
	RÉGIMEN NATURAL	RÉGIMEN ALTERADO	Factor de desviación	
			Magnitud (nº pulsos)	Porcentaje (%)
<i>Tasa de ascenso</i>	0,2395	0,171	-0,069	-28,6
<i>Tasa de descenso</i>	-0,1867	-0,1643	0,022	-12
<i>Nº inversiones</i>	199,9	192,5	-7,4	-3,70

*La Magnitud perteneciente al Factor de Desviación indica la diferencia entre el régimen natural y el alterado (valor régimen natural – valor régimen alterado). El Porcentaje es el cociente entre la Magnitud y el valor del régimen natural.

Tabla 86. Media de los cambios diarios positivos de caudales (ascenso) y negativos (descenso) junto con factor de desviación de tales medias del tramo 1-2. (Fuente: Elaboración propia mediante Tabla de resultados de IHA paramétricos)

Los resultados del análisis paramétrico que aparecen en la Tabla anterior muestran que se ven alteradas ambas tasas, disminuyéndose también el número de inversiones en régimen alterado. No obstante, y especialmente en la tasa de descenso, esta variación entre regímenes no resulta extremadamente elevada,



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

como se puede apreciar mediante el factor de desviación de las medias. El número de inversiones apenas se ve alterado, ya que la disminución en el régimen alterado es mínima.

9.4.6. EVALUACIÓN DE LA ALTERACIÓN

Todos los parámetros analizados por el Método de Rango de Variabilidad explicado por Richter et. al. (1997) son los estudiados en este epígrafe.

Este método considera tres categorías de Alteración: Alta, Baja y Media; para definir los umbrales se debe conocer si se trata de un análisis paramétrico o no paramétrico. En este caso se analizará la alteración a través de un análisis paramétrico de los datos tal y como se ha realizado en los anteriores apartados. Los límites entre las categorías se basan en valores de percentiles: 33 y 67. Se dividen los datos en estas tres categorías, para cada una de ellas existe la probabilidad de 33% de que un dato se encuentre dentro de ella. Esto produce una demarcación automática de las tres categorías de igual tamaño: la categoría más baja contiene todos los valores menores o iguales al percentil 33; la categoría media contiene todos los valores que caen en el intervalo entre los percentiles 34 y 67; y la categoría más alta contiene todos los valores mayores que el percentil 67.

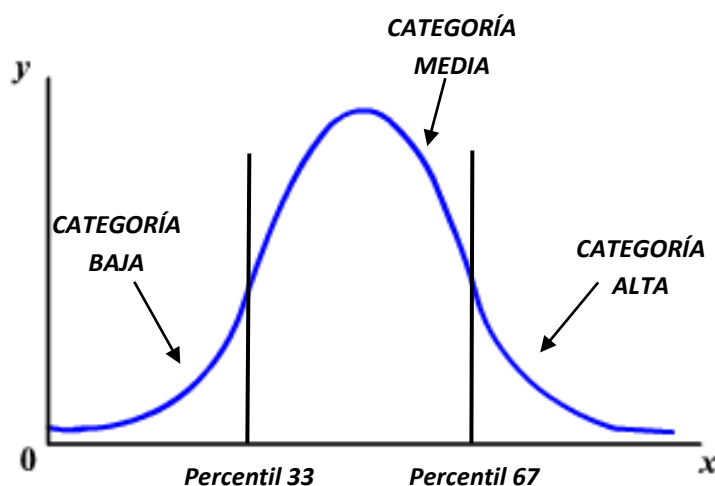


Figura 97. Esquema de los umbrales que definen las tres categorías del RVA para una distribución normal.
(Fuente: Elaboración propia)

Como en este caso los años analizados son 15, lógicamente la frecuencia esperada debería ser 5 para cada categoría, según el Manual de IHA al usar los percentiles 33 y 67 se asegura que en la mayor parte de las situaciones el número de valores anteriores al impacto que cae en cada categoría sea el mismo. No obstante, esto no ocurre en este análisis, donde la frecuencia esperada es mayor en algunas categorías y, como consecuencia, menor en otras.

Una vez definidos estos umbrales el programa calcula la frecuencia esperada con la cual los valores del régimen alterado de los parámetros de IHA deberían caer dentro de cada categoría (en el presente caso esto sería el 33% para cada una de las tres categorías, como se ha comentado con anterioridad). A continuación el programa halla la frecuencia con la cual los valores anuales del régimen alterado de los parámetros IHA realmente caen dentro de cada una de las tres categorías. Finalmente, se calcula el factor de alteración hidrológica para cada una de las tres categorías como la Fórmula definida en el epígrafe Metodología IHA (Richter):

$$\frac{FE - FO}{FE}$$

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

(FE) Frecuencia esperada: Frecuencia con la que el parámetro considerado toma valores dentro del RVA en las observaciones correspondientes a los años del régimen natural.

(FO) Frecuencia Observada: Frecuencia con la que el parámetro considerado toma valores dentro del RVA en las observaciones correspondientes a los años del régimen alterado.

Ecuación 6. Alteración hidrológica calculada a través del método RVA.
(Fuente: Manual de usuario de IHA 7.1)

La Tabla 87 muestra todos los parámetros que se han estudiado en el presente proyecto del software IHA con sus respectivos valores en las tres categorías de RVA, como se puede observar el tercer grupo de parámetros no se ha tenido en cuenta en esta evaluación de la alteración ya que, como se ha mencionado con anterioridad, no se considera un grupo que sea necesario tener en cuenta para el desarrollo de este Estudio.

	PARÁMETROS EVALUADOS	CATEGORÍAS RVA								
		ALTA			MEDIA			BAJA		
		FE	FO	Alteración	FE	FO	Alteración	FE	FO	Alteración
PRIMER GRUPO	Octubre	2	0	-1	10	15	0,5	3	0	-1
	Noviembre	2	0	-1	10	11	0,1	3	4	0,3
	Diciembre	2	1	-0,5	10	8	-0,2	3	6	1
	Enero	2	1	-0,5	10	6	-0,4	3	8	1,7
	Febrero	2	3	0,5	12	6	-0,5	1	6	5
	Marzo	1	1	0	11	5	-0,5	3	9	2
	Abril	3	0	-1	10	6	-0,4	2	9	3,5
	Mayo	1	2	1	10	6	-0,4	4	7	0,8
	Junio	1	2	1	11	13	0,2	3	0	-1
	Julio	2	15	6,5	11	0	-1	2	0	-1
	Agosto	1	15	14	10	0	-1	4	0	-1
	Septiembre	2	15	6,5	10	0	-1	3	0	-1
SEGUNDO GRUPO	1-día mínimo	2	12	5	10	1	-0,9	3	2	-0,3
	3-días mínimo	3	15	4	9	0	-1	3	0	-1
	7-días mínimo	3	15	4	11	0	-1	1	0	-1
	30-días mínimo	2	15	6,5	10	0	-1	3	0	-1
	90-días mínimo	2	14	6	11	1	-0,9	2	0	-1
	1-día máximo	3	1	-0,7	9	5	-0,4	3	9	2
	3-días máximo	3	3	0	9	4	-0,6	3	8	1,7
	7-días máximo	3	3	0	9	4	-0,6	3	8	1,7
	30-días máximo	2	2	0	10	5	-0,5	3	8	1,7
	90-días máximo	2	1	-0,5	10	7	-0,3	3	7	1,3
	Número días cero caudal	3	2	-0,3	12	13	0,1	0	0	
	Índice caudal base	3	14	3,7	10	1	-0,9	2	0	-1
CUARTO GRUPO	Conteo pulsos bajos	2	1	-0,5	9	1	-0,9	4	13	2,3
	Duración pulsos bajo	3	1	-0,7	9	2	-0,8	3	7	1,3
	Conteo pulsos altos	2	0	-1	11	6	-0,5	2	9	3,5
	Duración pulsos alto	1	1	0	11	6	-0,5	3	1	-0,7
QUINTO GRUPO	Tasa de subida	1	1	0	11	8	-0,3	3	6	1
	Tasa de bajada	3	5	0,7	10	9	-0,1	2	1	-0,5
	Número de reversas	3	1	-0,7	10	9	-0,1	2	5	1,5

Tabla 87. Categorías alta, media y baja del RVA para cada uno de los parámetros IHA analizados en el presente Estudio del tramo 1-2.
(Fuente: Elaboración propia mediante Tabla de resultados de IHA paramétricos)



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

Los valores positivos de alteración hidrológica significan que la frecuencia de los valores en la categoría ha aumentado entre el régimen natural y el alterado, mientras que los negativos indican que la frecuencia de los valores ha disminuido.

Como se puede observar a través de la Tabla 87 y de la Figura 98 los grupos de parámetros más alterados son el primero y el segundo.

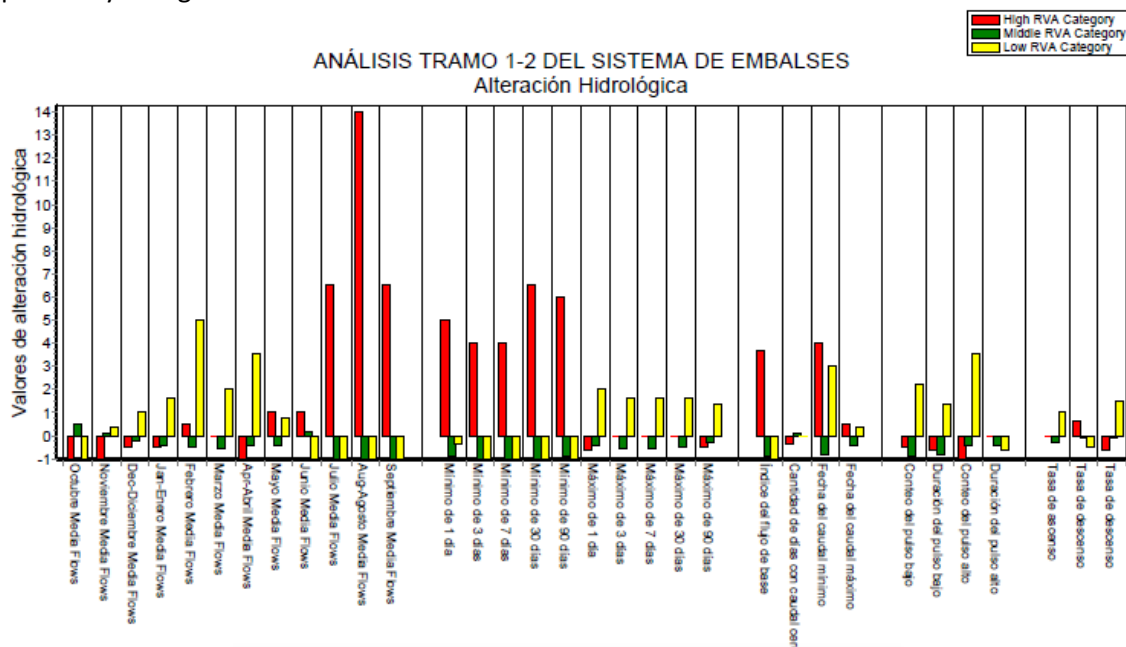


Figura 98. Alteración de los 33 parámetros que analiza IHA del tramo 1-2. (Fuente: IHA)



Figura 99. Parámetros más alterados pertenecientes a la categoría alta. (Fuente: Elaboración propia)

Como se puede observar en las Figuras expuestas, para la **categoría alta** los grupos de parámetros más afectados son el primero y el segundo. En concreto el parámetro que resulta más alterado según el análisis son los caudales medios del mes de agosto.

En cuanto a la **categoría media**, de la cual no se incluye Figura, no se destaca ningún grupo de parámetros realmente afectado. Es decir, dentro de esta categoría no se han encontrado parámetros que puedan considerarse alterados.

La **categoría baja** muestra alteraciones a tener en cuenta en el primer, segundo, cuarto y quinto grupo. De todos ellos el más afectado es el primer grupo, en el cual los caudales medios de febrero es el parámetro que más ha variado con respecto al régimen natural.

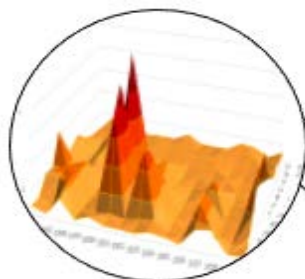


Figura 100. Parámetros más alterados pertenecientes a la categoría baja. (Fuente: Elaboración propia)

Los aspectos que resultan más alterados estudiados a partir de IHA son los caudales medios del período estival y de febrero y la magnitud y la temporalidad de los caudales mínimos.

9.5. CONCLUSIONES

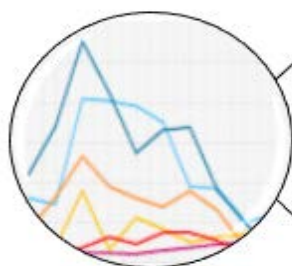
Con el fin de entender los cambios entre regímenes se exponen los siguientes puntos donde se clasifica la alteración como: no apreciable, mínima, media y grave:



Aportaciones anuales

Magnitud: disminución leve. *Alteración mínima.*

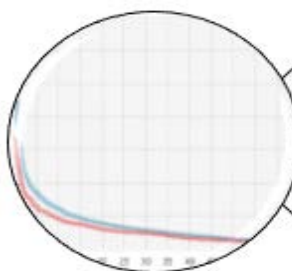
Variabilidad: se mantiene. *Alteración no apreciable.*



Aportaciones mensuales

Magnitud y variabilidad: aumento drástico en período estival y gran disminución en invierno. Pérdida del patrón estacional. *Alteración grave.*

Estacionalidad de los mínimos: mínimo en noviembre en lugar de en agosto. *Alteración media.*



Caudales diarios circulantes

Un 50% el año el caudal del régimen alterado es significativamente menor que el natural. *Alteración mínima.*

Un 40% del año los valores alterados superan al natural. *Alteración no apreciable.*

Variabilidad: el rango de caudales del 80% del año se ve reducido. *Alteración mínima.*



Avenidas

Magnitud: disminuye. *Alteración media.*

Variabilidad: aumenta. *Alteración mínima.*

Duración: disminuye a la mitad. *Alteración media.*

Estacionalidad: se mantienen los patrones, disminuyen los días en octubre y noviembre. *Alteración no apreciable.*



Sequías

Magnitud: aumenta significativamente. *Alteración media.*

Variabilidad: disminuye. *Alteración media.*

Duración: prácticamente desaparecen los días de sequías. *Alteración grave.*

Estacionalidad: se pierde el patrón, desaparecen días de sequía. *Alteración grave.*

Figura 101. Conclusiones de la alteración de los aspectos analizados del tramo 1-2. (Fuente: Elaboración propia)

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

Tanto IAHRIS como IHA obtienen que los aspectos más afectados son las **sequías**. La magnitud de los de las sequías resulta gravemente afectada, aumentándose más de la mitad en el régimen alterado. De esta forma la disponibilidad del hábitat aumenta, sin alcanzar umbrales críticos de temperatura y oxígeno disuelto, por lo que no se produce una pérdida de conectividad longitudinal y transversal. No obstante, estos valores del régimen alterado provocan que se disminuya la acción contra especies alóctonas, facilitando su entrada y supervivencia, ya que para llegar a expulsar estas especies no nativas del río serían necesarios valores mínimos similares a los del régimen natural, a los cuales sólo las especies autóctonas se encuentran adaptadas. La variabilidad de los caudales mínimos circulantes se ha visto severamente reducida, así como la estacionalidad que se ve claramente alterada reduciéndose los días consecutivos de sequía a valores prácticamente nulos y generando un cambio brusco en el patrón estudiado en el régimen natural lo que produce facilidad para la integración de las especies alóctonas en el sistema fluvial.

Otro aspecto que resulta gravemente alterado es la **variabilidad y la magnitud de las aportaciones o caudales mensuales**, especialmente en meses de verano donde aumenta significativamente. La magnitud de las aportaciones o caudales mensuales disminuye de forma drástica en meses tales como octubre y noviembre, es decir, meses más fríos; estos caudales se incrementan en meses estivales (en concreto en agosto se alcanza la máxima variación) generando una pérdida de la variabilidad intranual y desestabilizando así los valores naturales del sistema fluvial. No obstante, es necesario mencionar que los caudales medios entre los meses de octubre y enero no resultan altamente afectados.

La **estacionalidad o temporalidad de los mínimos** también resulta afectada, como se ha explicado con anterioridad, el caudal mínimo se origina en el mes de octubre en lugar de en meses más calurosos. La **magnitud** se ha caracterizado por un aumento brusco de los caudales mínimos, siendo el valor más afectado el diario que se ve incrementado en un 550%. En conclusión, la duración de los pulsos bajos se ve reducida y la de los pulsos altos aumenta en el régimen alterado, sin embargo el número de inversiones prácticamente no se modifica.

Los aspectos que menos difieren entre regímenes son: la variabilidad y magnitud interanual y las avenidas, los valores máximos tampoco se han visto alterados de forma significativa.

Aspectos más alterados			
Magnitud, duración, variabilidad y estacionalidad de las sequías	Variabilidad intranual	Magnitud mensual	Estacionalidad y magnitud de los mínimos

Figura 102. Aspectos más alterados del tramo 1-2 del río Tera.
(Fuente: Elaboración propia)

10. CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN DE CAUDALES EN EL TRAMO DEL RÍO TERA DESDE LA PRESA DE AGAVANZAL A LA CONFLUENCIA CON EL Esla (TRAMO 2-3)

10. CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN NATURAL DEL TRAMO DEL RÍO TERA DESDE LA PRESA DE AGAVANZAL A LA CONFLUENCIA CON EL ESLA (TRAMO 2-3)

10.4. ENCUADRE GENERAL

El segundo tramo a analizar se encuentra aguas abajo de la presa de Nuestra Señora del Agavanzal. Concretamente el tramo de estudio es el que se muestra en la siguiente figura, desde el punto 2 al 3:

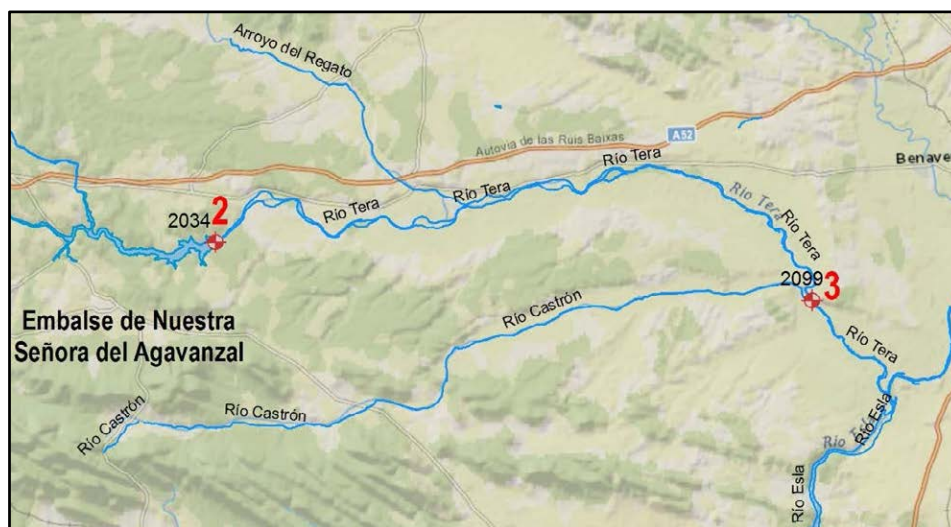


Figura 103. Segundo tramo de análisis del Estudio.
(Fuente: Elaboración propia)

Como se puede observar en la Figura 103 este tramo del río cuenta con el río Castrón y el Arroyo del Regato como principales afluentes.

La cuenca del tramo 2-3 se caracteriza por estar compuesta, en su mayoría, por cultivos y zonas urbanas, como se ha mencionado en el epígrafe *USOS DEL SUELO*. De manera que una parte de los caudales del sistema de embalses está destinado a estas zonas de cultivo en meses de verano aunque, como ya se ha comentado, no son derivaciones de importante magnitud.

Anteriormente se han expuesto los acuíferos que afectan y alimentan al río. En la cuenca que abarca el tramo de estudio se localizan el acuífero de Valle del Tera y de Aliste. De la misma forma que se ha explicado previamente, se conoce que estos acuíferos puedan aportar agua al río, debido a ello en los períodos estivales se pueden distinguir esas pequeñas aportaciones: se evitan los caudales nulos.

Tal y como se ha trabajado el anterior tramo, se evalúa este segundo tramo: caracterización del régimen natural y evaluación de la alteración. De nuevo se entiende como régimen natural al inicio del tramo (punto 2) que recibe el nombre de “natural” por imperativo del software al régimen saliente de la presa, y “alterado” al régimen evaluado en la estación de aforos 2099 al final del tramo (punto 3). En este caso, el régimen natural es el conocido como alterado en el tramo anterior (aunque los datos han sido transformados para adaptarlos a la cuenca entera del tramo dos como se explica en el epígrafe *DATOS DISPONIBLES. MODELO DE CORRECCIÓN*). Por lo tanto el régimen natural considerado en este tramo se encuentra ya alterado debido al sistema de embalses aguas arriba. No obstante, en el estudio de este tramo se va a valorar únicamente la alteración del tramo 2-3, por lo que no se tiene en cuenta la presión anterior.

10.5. ASPECTOS ANALIZADOS

Los aspectos analizados para este tramo son los presentados con anterioridad en el Estudio del anterior tramo, es decir, los estipulados en la Tabla 48.

10.6. RESULTADOS OBTENIDOS

10.6.1. APORTACIONES ANUALES

En este tramo, las aportaciones anuales se asemejan en cuanto a la variabilidad y la magnitud con el tramo 1-2 estudiado primeramente.

El régimen de caudales se caracteriza por una acusada **variabilidad interanual** en la magnitud de las aportaciones anuales, ofreciendo máximos y mínimos en prácticamente los mismos años que el tramo anterior. De la misma forma se han establecido los umbrales de año húmedo, medio y seco, que resultan similares a los del tramo 1-2.

Como ya se ha comentado, las aportaciones anuales no llevan asociada una función ambiental o geomorfológica específica, pero sí son de gran interés desde el punto de vista ecológico ya que determinan la disponibilidad general de agua en el ecosistema. Este aspecto se encuentra íntimamente ligado con la intromisión de especies exóticas.

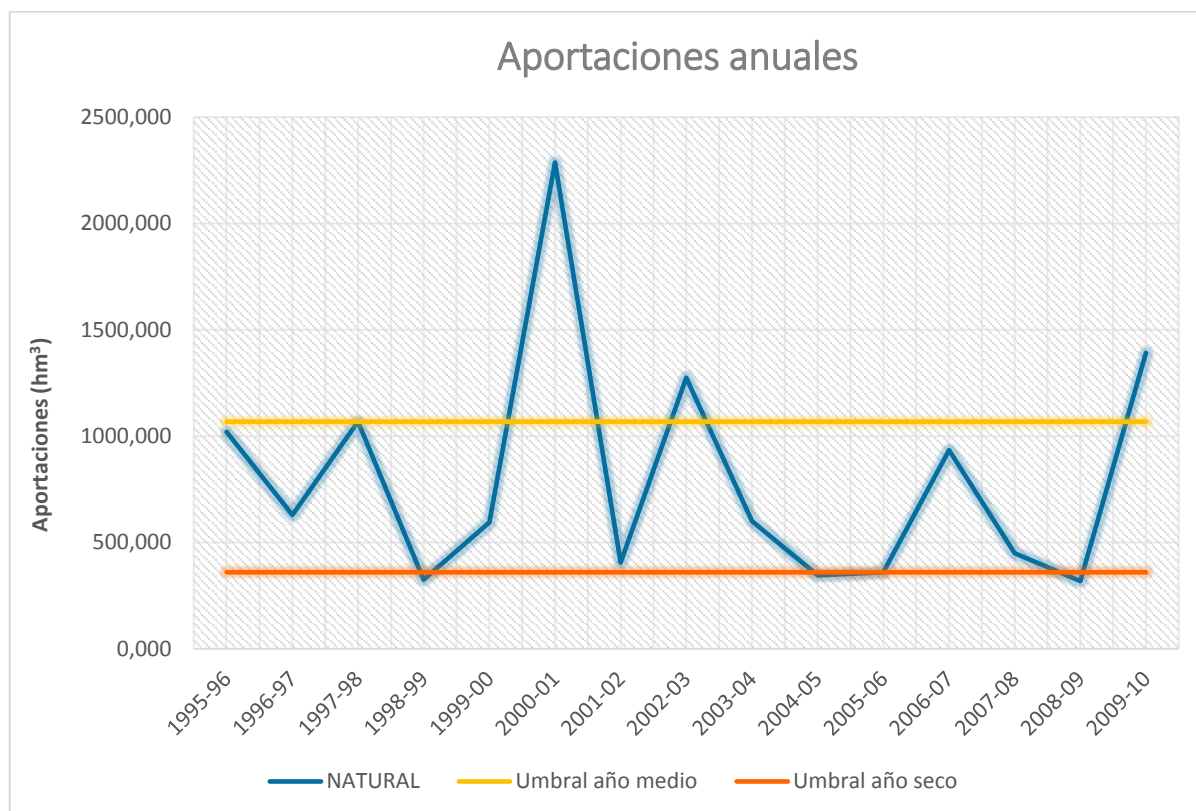


Figura 104. Aportaciones anuales en régimen natural entre 1995 y 2010 del tramo 2-3.
(Fuente: Elaboración propia mediante informe nº1 de IAHRIS)

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

TIPOS DE AÑO PARA RÉGIMEN NATURAL					
HÚMEDOS		MEDIOS		SECOS	
AÑO	APORTACIÓN (hm ³)	AÑO	APORTACIÓN (hm ³)	AÑO	APORTACIÓN (hm ³)
1997-98	1067,628	1995-96	1019,818	1998-99	324,812
2000-01	2286,463	1996-97	629,545	2001-02	345,600
2002-03	1274,095	1999-00	594,500	2004-05	359,847
2006-07	1391,112	2003-04	405,878	2008-09	318,529
Media	1504,824	2005-06	599,703	Media	337,197
		2007-08	934,246		
		2009-10	449,096		
		Media	661,826		

Tabla 88. Tabla de años húmedos, medios y secos en régimen natural del tramo 2-3.
(Fuente: informe nº1 de IAHRS)

A través de la Tabla 88 de años húmedos, medios y secos conocemos lo siguiente:

- 4 años húmedos (que superan la aportación anual superior a 1067,628 hm³).
- 7 años medios o normales (con una aportación anual entre 1067,628 y 359,847 hm³).
- 4 años secos (cuya aportación anual es inferior a 359,847 hm³).
- En el año 2000 se origina la máxima aportación: 2286,463 hm³. La aportación mínima es de 318,529 hm³ en el año 2008.

10.6.2. APORTACIONES MENSUALES

APORTACIONES MENSUALES (hm ³)			
TIPO DE AÑO	HÚMEDO	MEDIO	SECO
MES			
Octubre	95,395	22,376	15,700
Noviembre	85,531	23,410	13,329
Diciembre	218,083	105,315	14,156
Enero	239,781	19,761	13,924
Febrero	240,833	78,632	12,476
Marzo	207,780	49,578	18,165
Abril	112,003	29,842	22,446
Mayo	109,789	37,599	27,674
Junio	63,061	40,862	30,164
Julio	66,442	51,513	41,096
Agosto	65,560	50,198	43,833
Septiembre	76,174	43,499	35,487
Máximo	240,833	105,315	43,833
Media	131,703	46,049	24,037
Mínimo	63,061	19,761	12,476

Tabla 89. Aportaciones mensuales en régimen natural del tramo 2-3.
(Fuente: Elaboración propia mediante informe nº2 de IAHRS)

El régimen circulante mantiene las características pluviométricas detectadas en el primer tramo, por lo que la alteración en este aspecto es mínima. Esto puede ser observado en los años húmedos y medios. Tanto en



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

años medios como secos se aprecia la dependencia ya anteriormente comentada del régimen de caudales de las precipitaciones: los niveles de caudal bajan drásticamente al disminuir las aportaciones de la cuenca. Aunque este hecho se suele manifestar en el verano de ambos años, en este caso se observa un aumento de las aportaciones que serán resultado de las aportaciones en esta época para riego.

A través de la Figura 105 y la Tabla 89 se conoce que la **variabilidad intranual** es patente en años húmedos, mientras que en años medios disminuye y en secos es realmente baja sin mostrar picos claros de máximos y mínimos.

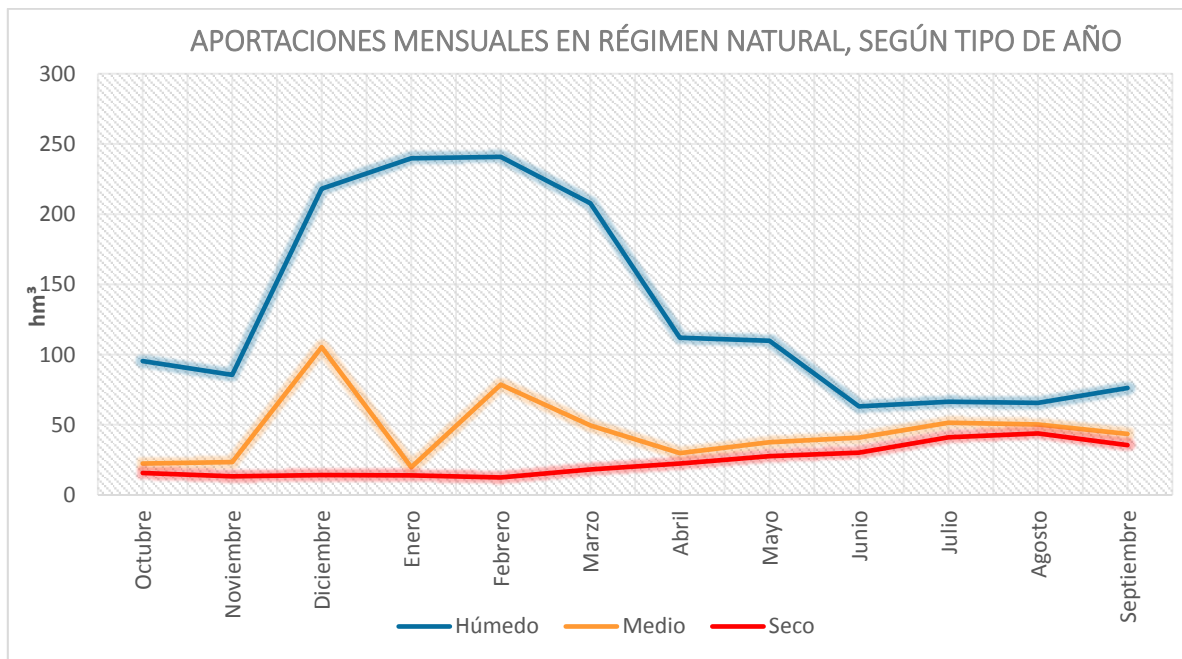


Figura 105. Aportaciones mensuales para cada año en régimen natural del tramo 2-3. (Fuente: Elaboración propia mediante informe nº2 de IAHRIS)

	Años húmedos <ul style="list-style-type: none"> •Máximo: 240,833 hm³ en febrero. •Mínimo: 63,061 hm³ en junio. 	ALTA VARIABILIDAD
	Años medios <ul style="list-style-type: none"> •Aumento de aportaciones mayor en diciembre y febrero •Aumento de aportaciones en los meses más secos paulatinamente •Mínimo en enero: 19,761 hm³ 	BAJA VARIABILIDAD
	Años secos <ul style="list-style-type: none"> •Aportaciones más bajas •Máximo en agosto: 43,833 hm³ •Meses de verano: aumento de las aportaciones 	MUY BAJA VARIABILIDAD

Figura 106. Aspectos más destacados de las aportaciones mensuales para los diferentes tipos de año del tramo 2-3. (Fuente: Elaboración propia)

El drenaje de los acuíferos que se presentan en la cuenca del tramo de estudio genera unas aportaciones que garantizan caudales circulantes menos dependientes de las precipitaciones del año. Lógicamente esos

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

caudales base, de limitada variabilidad a lo largo del año excepto en años húmedos, se aprecian de manera más nítida cuando los procedentes de escorrentía superficial son más escasos (es decir, en los años secos).

Para completar el estudio de la variabilidad es necesaria la caracterización de la **variabilidad extrema**, realizada año a año para cada año tipo, con el resultado de un promedio para cada tipo.

VARIABILIDAD EXTREMA (hm ³)			
AÑO HÚMEDO	AÑO MEDIO	AÑO SECO	AÑO PONDERADO
177,772	85,554	31,357	95,059

Tabla 90. Valores de variabilidad máxima en régimen natural del tramo 2-3.
(Fuente: Elaboración propia)

Otro aspecto que debe ser estudiado de las aportaciones mensuales es la **estacionalidad**, de manera que se ha localizado el mes en el cual tienen lugar la máxima aportaciones y el mes en donde se encuentra la mínima.



Figura 107. Estacionalidad de máximos y mínimos a escala mensual en el tramo 2-3 del río Tera.
(Fuente: Elaboración propia)

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

Los resultados obtenidos permiten afirmar que las pautas estacionales no se mantienen constantes. La estacionalidad correspondiente a las aportaciones mensuales máximas se encuentra localizada en el período desde febrero a diciembre. Esto muestra el enorme rango que existe de estacionalidad en cuanto a los valores máximos. Las aportaciones mínimas se encuentran entre enero y junio, el rango de la estacionalidad en este caso es menor aunque apreciable.

10.6.3. CAUDALES DIARIOS CIRCULANTES

En este epígrafe se estudia la curva de caudales clasificados, que resulta de gran interés a la hora de relacionar los aspectos de magnitud y frecuencia.

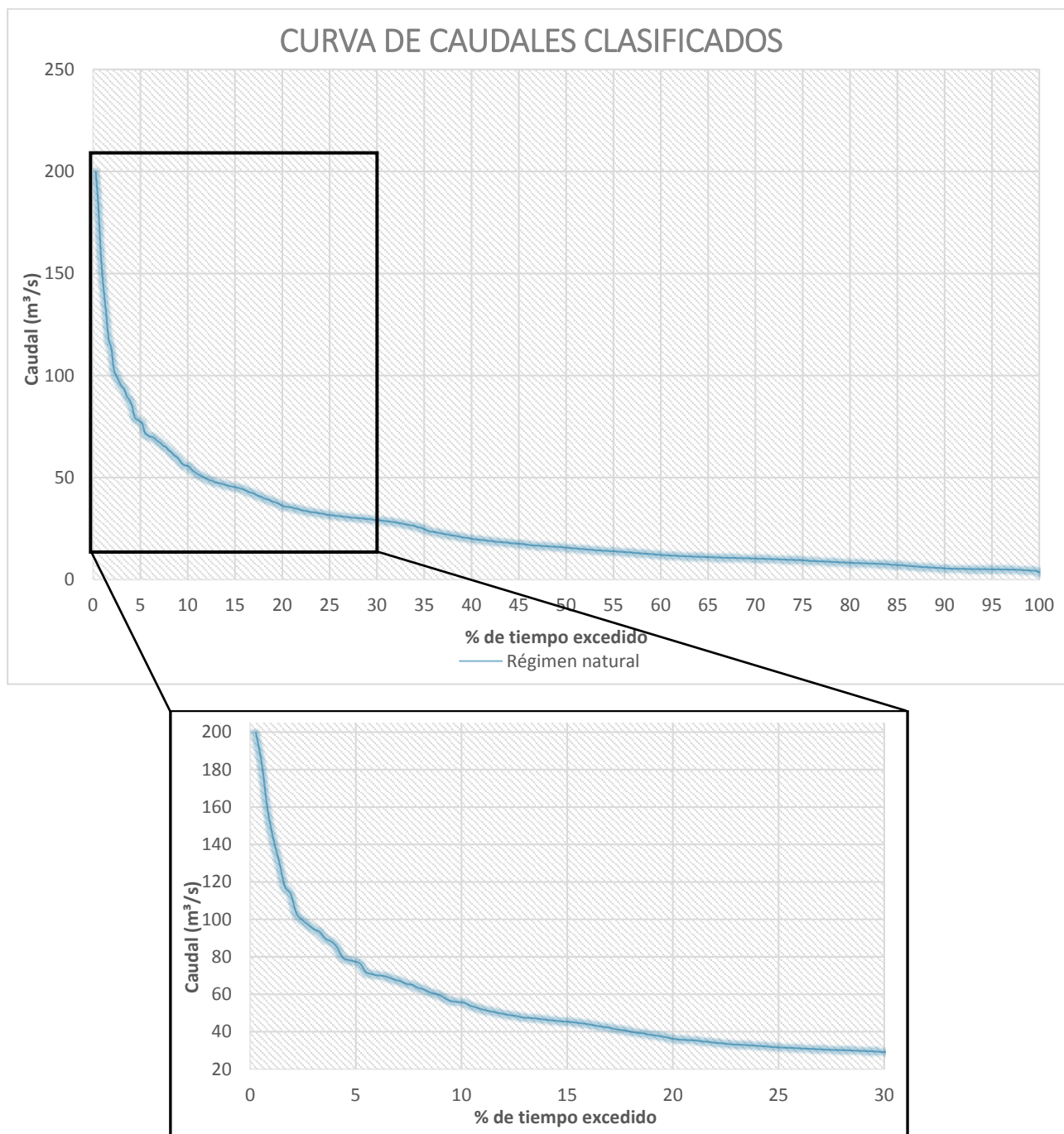


Figura 108. Curva de caudales clasificados en régimen natural del tramo 2-3.
(Fuente: Elaboración propia mediante informe nº6 IAHRS)

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

Los caudales de avenidas se presentan en pocos días al año (5% del año, aproximadamente 18 días) con valores altos respecto a la media, esto se aprecia en la fuerte pendiente de la curva de caudales clasificados hasta alcanzar algo más del 5% de los días del año. Es desde este 5% donde la curva se caracteriza por pendientes más moderadas.

Nº DIAS EN LOS QUE EL CAUDAL ES EXCEDIDO	PERCENTIL DE EXCEDENCIA	CAUDAL (m³/s) REG. NATURAL
18	5	77,56
37	10	55,44
55	15	45,30
73	20	36,25
91	25	31,65
110	30	29,08
128	35	24,62
146	40	20,00
164	45	17,61
183	50	15,58
201	55	13,90
219	60	12,11
237	65	11,04
256	70	10,32
274	75	9,48
292	80	8,27
310	85	7,15
329	90	5,47
347	95	5,06
365	100	3,59

Tabla 91. Valores de la curva de caudales clasificados para el régimen natural del tramo 2-3.
(Fuente: Elaboración propia mediante informe nº6 de IAHRIIS)

Para completar el estudio de esta curva es necesaria la evaluación del rango de variabilidad habitual que, como se ha explicado previamente, es la diferencia entre Q_{10} y Q_{90} (valores de caudal que se ven igualados o superados el 10 y 90% del año, respectivamente), ambos valores han sido expuestos en párrafos anteriores. Ese intervalo que equivale al 80% del año es el intervalo a analizar.

Además de estos aspectos, se debe conocer el valor de Q_{95} ya que, como se ha explicado con anterioridad, define el **umbral de los días secos**.

VARIABILIDAD HABITUAL		
Q_{10} (m³/s)	Q_{90} (m³/s)	$Q_{10}-Q_{90}$ (m³/s)
55,44	5,47	49,97

Tabla 92. Estimación del Rango de Variabilidad Habitual del tramo 2-3.
(Fuente: Elaboración propia)

La Tabla 92 muestra que la variabilidad habitual es realmente elevada en consonancia con la curva, ya que la variable utilizada para medir este aspecto ($Q_{10}-Q_{90}$) supera el 90% del citado Q_{10} .



10.6.4. AVENIDAS

Conocido el importante papel de las avenidas en el ecosistema fluvial se pretende caracterizar diferentes aspectos de estas: magnitud, frecuencia, variabilidad, duración y estacionalidad.

10.6.4.1. MAGNITUD Y FRECUENCIA

Para el estudio de la magnitud de las avenidas se emplea la avenida habitual, un parámetro considerado de gran importancia dentro de la metodología IAHRIS, ya que constituye un umbral que permite discriminar si aparecen o no avenidas en un día determinado. Siempre que el caudal medio sea mayor o igual que el de la avenida habitual se considerará que ese día es un día con avenida.

Se presentan en la siguiente Tabla los valores de la magnitud media de las crecidas máximas (Q_c), el caudal generador del lecho (Q_{GL}), el caudal de conectividad (Q_{CONEC}) y el caudal de avenida habitual ($Q5\%$), todos ellos explicados en epígrafes anteriores.

MAGNITUD DE LAS AVENIDAS			
$Q_{GL} (m^3/s)$	$Q_{CONEC} (m^3/s)$	$Q5\% (m^3/s)$	$Q_c (m^3/s)$
268,8	401,2	77,26	199,68

Tabla 93. Caracterización de la magnitud de las avenidas en régimen natural del tramo 2-3.
(Fuente: Elaboración propia)

Existe una sensible diferencia entre el caudal de la avenida habitual y el resto de avenidas de mayor magnitud y menor frecuencia (máximas anuales, generadora del lecho, conectividad).

10.6.4.2. VARIABILIDAD

Otro aspecto a estudiar es la variabilidad de las avenidas, explicado anteriormente, en la cual intervienen dos parámetros: coeficiente de variación de la serie de máximos caudales diarios anuales ($Q_{MÁX}$ o Q_c) y el coeficiente de variación de la serie de caudales que definen la avenida habitual ($Q5\%$).

VARIABILIDAD DE LAS AVENIDAS	
Coeficiente de variación $Q_{MÁX}$	Coeficiente de variación $Q5\%$
1,08	1,04

Tabla 94. Caracterización de la variabilidad de las avenidas en el tramo del tramo 2-3 del río Tera.
(Fuente: Elaboración propia)

Mediante la Tabla 94 se concluye que la variabilidad de las avenidas máximas anuales alcanza niveles altos, ya que la desviación típica supone más del 100% de la media. En cuanto a la variabilidad de las avenidas habituales, el resultado es ligeramente menor al anterior, pero la desviación típica es superior en más 100% de la media también.

10.6.4.3. DURACIÓN

La duración de las avenidas se estudia para el caudal de avenida habitual. En la siguiente Tabla se muestra tal duración:



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

DURACIÓN DE LAS AVENIDAS	
Q5% (m ³ /s)	Duración avenida (días)
77,26	9,07

Tabla 95. Caracterización de la duración de las avenidas en el régimen natural del tramo 2-3.
(Fuente: Elaboración propia)

10.6.4.4. ESTACIONALIDAD

En cuanto a la estacionalidad, como ha sido explicado en otros epígrafes, se determina para cada mes el número medio de días en ese mes en que se originan caudales diarios superiores al que define una avenida habitual (Q5%).

A través de los resultados que se obtienen de este tramo se puede llegar a la conclusión de que la variabilidad estacional es patente en este tramo del río, al igual que el tramo anterior, ya que los caudales mayores se originan en meses más fríos (diciembre, enero, febrero y marzo) y se van reduciendo en primavera, se adaptan entonces a los ciclos vitales de las especies presentes.

	Oct	Nov	Dic	Ene*	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Nº MEDIO DÍAS AL MES CON AVENIDAS (77,26 m ³ /s)*	0,3	0,9	5,1	5,2	4,9	4,0	1,4	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0

*Entre paréntesis se especifica el caudal medio diario que define una avenida habitual.

*En color verde se detalla el mes que presenta el máximo nº de días con avenida.

Tabla 96. Número medio de días al mes en los que el caudal es mayor que el caudal habitual del tramo 2-3.
(Fuente: Informe nº4 de IAHRIS)

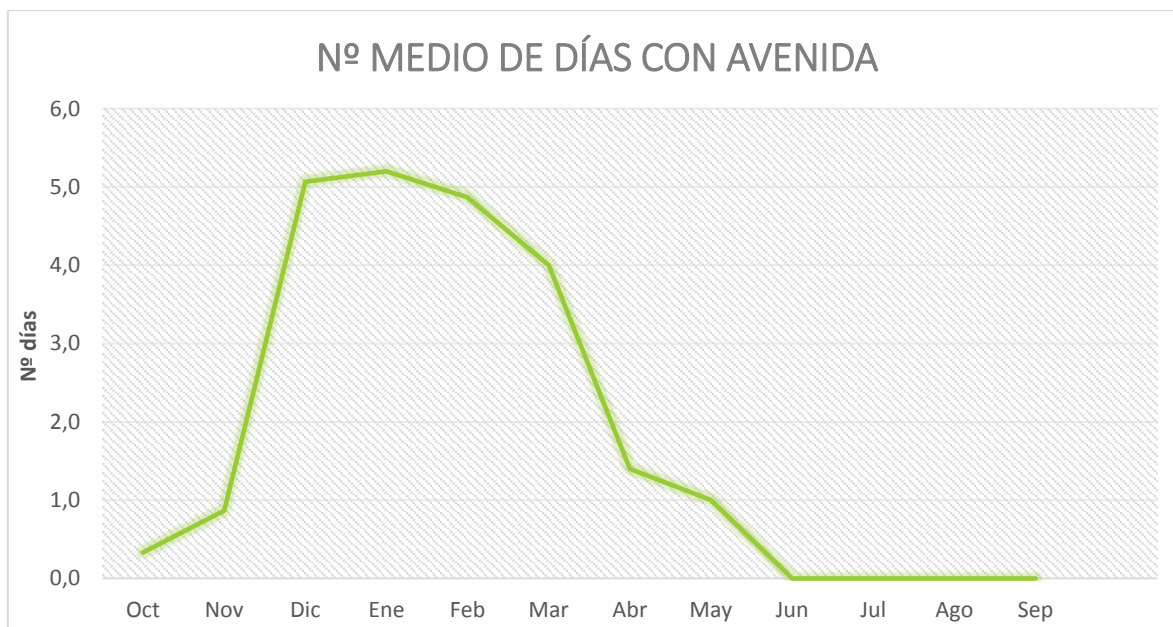


Figura 109. Caracterización de la estacionalidad de las avenidas en el tramo 2-3 del río Tera.
(Fuente: Elaboración propia)



10.6.5. SEQUÍAS

Al igual que las avenidas, las sequías deben ser evaluadas en aspectos tales como magnitud, frecuencia, variabilidad, estacionalidad y duración de estas.

10.6.5.1. MAGNITUD Y FRECUENCIA

Estos parámetros de las sequías quedan evaluados mediante la llamada sequía habitual (**Q95%**). De forma más concreta, la siguiente Tabla establece tal umbral de sequía en un caudal medio diario de 5,07 m³/s y el caudal mínimo (**Q_s**) en este tramo alcanza un valor de 3,44 m³/s.

MAGNITUD DE LAS SEQUÍAS	
Q _s (m ³ /s)	Q95% (m ³ /s)
3,44	5,07

Tabla 97. Caracterización de la magnitud de las sequías en el tramo 2-3 del río Tera.
(Fuente: Elaboración propia)

Estos resultados indican que como media el 95% de los días del año se dispone de un caudal superior a 5,07 m³/s, únicamente un 5% del año presenta un caudal menor. Estos valores extremos mínimos se encuentran en sintonía con las especies nativas del ecosistema fluvial, que se encuentran adaptadas a estas condiciones, y sirven como una barrera frente a la intromisión de especies alóctonas.

10.6.5.2. VARIABILIDAD

La variabilidad de las sequías, de la misma forma que de las avenidas, se estudia mediante coeficientes de variación. Estos se encuentran reflejados en la siguiente Tabla:

VARIABILIDAD DE LAS SEQUÍAS	
Coefficiente de variación Q _{MIN}	Coefficiente de variación Q95%
0,52	0,06

Tabla 98. Caracterización de la variabilidad de las sequías en el tramo 2-3 del río Tera.
(Fuente: Elaboración propia)

Para las sequías la variabilidad de los caudales mínimos diarios anuales alcanza niveles menos altos que en el caso de las avenidas, esto se debe a que la desviación típica supera un 53% de la media. En relación con la variabilidad de las sequías habituales, se obtiene una desviación típica del 6% de la media, lo que supone una variabilidad muy baja.

10.6.5.3. DURACIÓN

DURACIÓN DE LAS SEQUÍAS	
Q95% (m ³ /s)	Duración sequías (días)
5,07	6,93

Tabla 99. Caracterización de la duración de las sequías en el tramo 2-3 del río Tera.
(Fuente: Elaboración propia)

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

La duración de las sequías se evalúa de la misma forma que se ha evaluado en las avenidas: mediante la el cálculo, para cada año de la serie, del máximo número de días consecutivos con caudal menor que el caudal de sequía habitual (Q95%). Posteriormente se estima el valor medio para los n años disponibles.

Los resultados de IAHRIS indican que la duración de las sequías habituales es de 7 días aproximadamente.

Es necesario mencionar que los días consecutivos de avenidas (9 días) son similares a los de las sequías, en ambos casos se plantea como caudal de referencia uno que deja el 5%, por encima en el caso de las avenidas y por debajo en el de las sequías.

10.6.5.4. ESTACIONALIDAD

En relación a la estacionalidad de las sequías se determina para cada mes el número medio de días en ese mes en que se originan caudales diarios inferiores al que define una sequía habitual (Q95%).

	Oct	Nov	Dic	Ene*	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Nº MEDIO DÍAS AL MES CON $Q \leq Q95\%$ (5,07 m ³ /s)*	4,1	3,4	2,9	4,9	4,5	2,5	0,7	0,4	0,5	0,4	0,3	0,6

*Entre paréntesis se especifica el caudal medio diario que define una sequía habitual.

*En color verde se detalla el mes que presenta el máximo nº de días con sequía.

Tabla 100. Número medio de días al mes en los que el caudal es mayor que el caudal habitual del tramo 2-3.
(Fuente: Informe nº4 de IAHRIS)

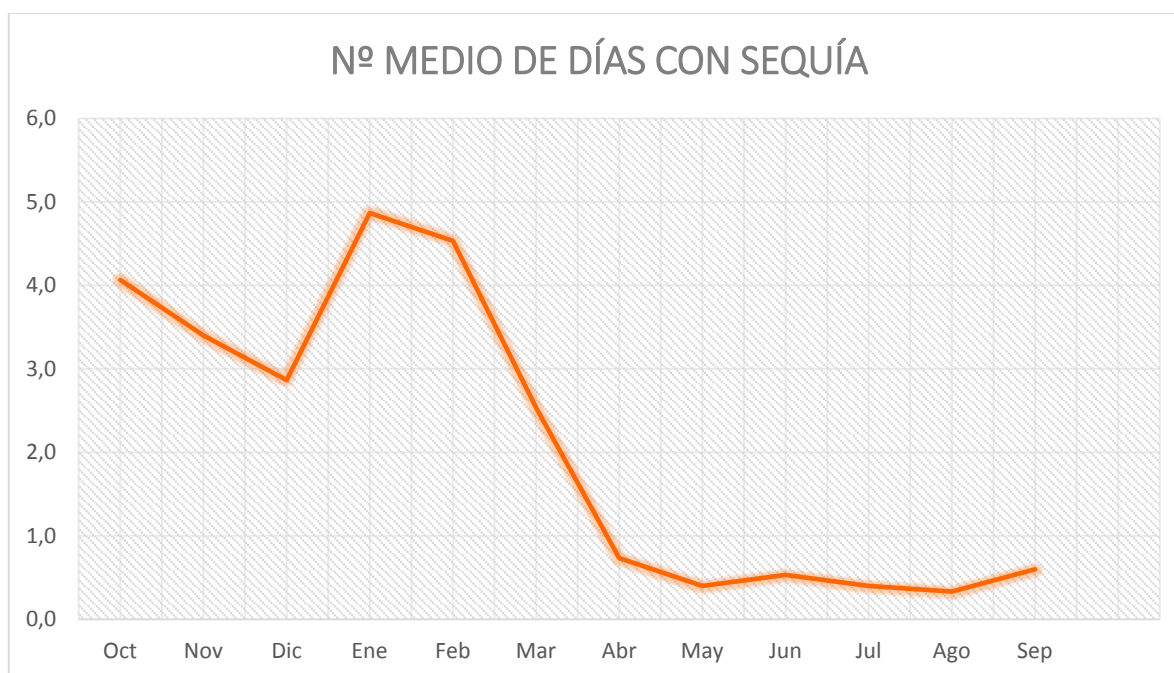


Figura 110. Caracterización de la estacionalidad de las sequías en el tramo 2-3 del río Tera.
(Fuente: Elaboración propia)

Los resultados obtenidos permiten conocer el mayor número de días con caudal inferior al de la sequía habitual se origina en meses de otoño e invierno (de octubre a marzo). El hecho de que las sequías se produzcan en meses de invierno apunta a que en verano este tramo de río se encuentra alimentado por el sistema de embalses para regadío de los terrenos agrícolas presentes en zonas cercanas.

10.7. CONCLUSIONES

El régimen de caudales del tramo 2-3 comprendido entre la presa de Nuestra Señora del Agavanzal y la confluencia del río Tera con el Esla se caracteriza por los siguientes puntos:

- La **variabilidad interanual** es patente, con máximos y mínimos en diversos años. Así como la **variabilidad intranual**, especialmente en años húmedos; en años medios es menor y en secos es realmente escasa.
- La **estacionalidad** de máximos se caracteriza por un rango elevado, ya que las aportaciones mensuales máximas se encuentran de febrero a diciembre. La estacionalidad de las aportaciones mínimas mensuales es de un rango menor (enero-junio).
- La **variabilidad habitual de los caudales diarios circulantes** se apoya en un rango elevado, en concreto de 5,47 a 55,44 m³/s.
- En cuanto a las **avenidas**, el caudal de avenida habitual es claramente menor en comparación con los caudales de conectividad, generador del lecho... La variabilidad de las avenidas es prominente, según los coeficientes estudiados. La estacionalidad es comprensible, se suceden las mayores avenidas en muchos meses y en los más fríos (noviembre-marzo).
- Las **sequías** se caracterizan por una variabilidad menor que la presente en las avenidas. La estacionalidad de las sequías se origina en los meses fríos (octubre a marzo) lo cual se aleja del típico carácter mediterráneo.

11. EVALUACIÓN DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA DEL TRAMO DEL RÍO TERA DESDE LA PRESA DE AGAVANZAL A LA CONFLUENCIA CON EL Esla (TRAMO 2-3)

11. EVALUACIÓN DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA DEL TRAMO DEL RÍO TERA DESDE LA PRESA DE AGAVANZAL A LA CONFLUENCIA CON EL ESLA (TRAMO 2-3)

11.1. INTRODUCCIÓN

El tramo 2-3 se caracteriza por la presencia de cultivos con algunas zonas boscosas de encina. Dichos cultivos pueden ser la causa de cierta alteración en el tramo, generando posibles cambios en los meses calurosos.

En este epígrafe se pretenden analizar tales alteraciones, con el fin de conocer el estado actual del tramo bajo del sistema fluvial. De manera que, como en epígrafes anteriores, se realizarán dos estudios: uno mediante IAHRIS y otro complementario de IHA; con el propósito de entender más completa y profundamente el estado actual del tramo.

11.2. CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN ALTERADO (MÉTODO IAHRIS)

Los resultados que se presentan en este epígrafe persiguen caracterizar en términos cuantitativos y cualitativos la alteración producida en el tramo del río Tera desde la presa de Agavanzal hasta su confluencia con el río Esla. Este proceso se centra en comparar el régimen de caudales en el inicio del tramo, anteriormente descrito, con el régimen alterado.

Analizada la disponibilidad de datos en el epígrafe de *CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA*, la evaluación de la alteración se llevará a cabo en base a los aspectos recogidos en la Tabla 101:

RÉGIMEN NATURAL		RÉGIMEN ALTERADO		PROCESO
<i>Estación</i>	<i>Periodo</i>	<i>Estación</i>	<i>Periodo</i>	
2034 (transformados los datos)	1995-2010 (15 años)	2099	1995-2010 (15 años)	Series coetáneas

Tabla 101. Datos disponibles en régimen natural y alterado para el Estudio del tramo 2-3.
(Fuente: Elaboración propia)

Los aspectos caracterizados en el régimen de caudales considerado natural son también analizados para el llamado alterado. Además los resultados de ambos regímenes se comparan para conocer el grado de variación entre ellos y de esta forma percibir el nivel de alteración que presenta el tramo estudiado.

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO Esla

11.2.1. APORTACIONES ANUALES

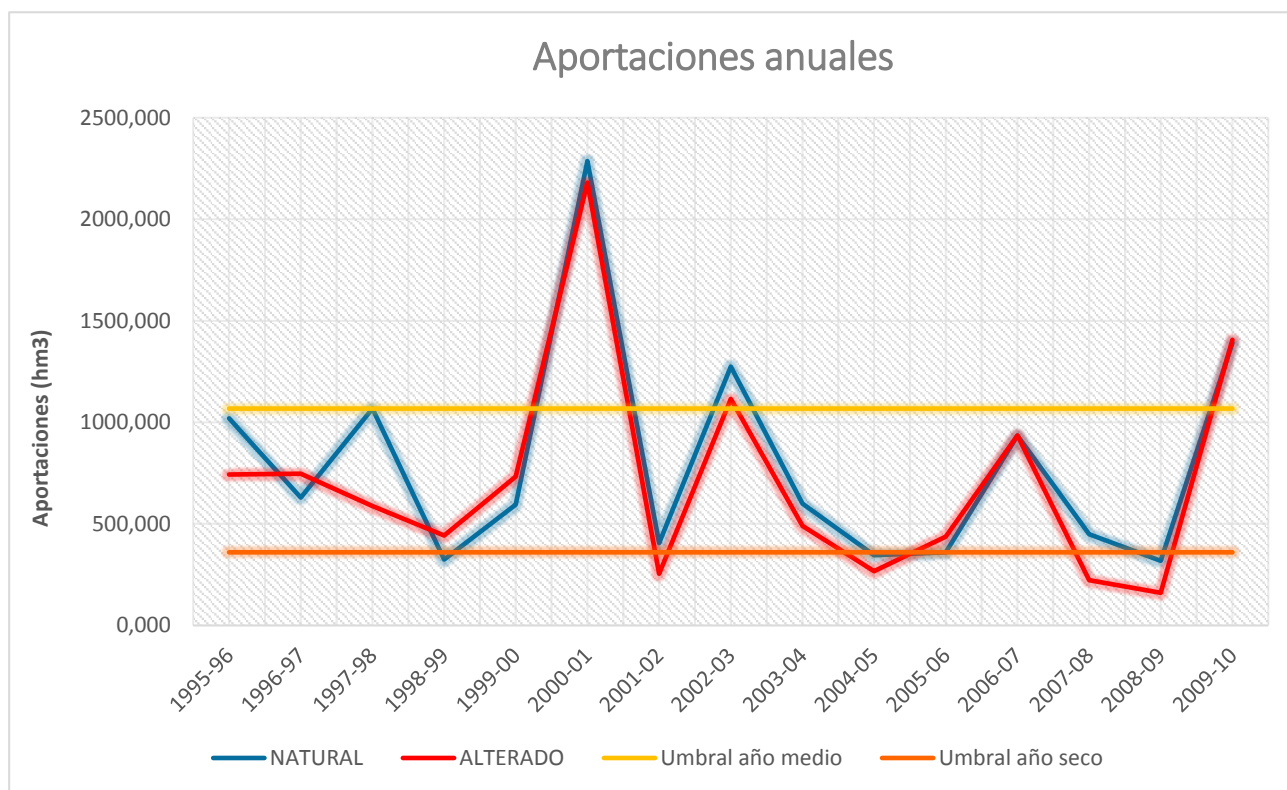


Figura 111. Aportaciones anuales en régimen natural y alterado entre 1995 y 2010 del tramo 2-3.
(Fuente: Elaboración propia)

Comparando ambos regímenes es posible observar que no existen grandes cambios de variabilidad interanual; la magnitud se ve algo más afectada que la variabilidad, pero no de forma significativa. No obstante, en el periodo entre 1995 y 1999 ambos aspectos se ven claramente alterados.

TIPOS DE AÑO PARA RÉGIMEN ALTERADO					
HÚMEDOS		MEDIOS		SECOS	
AÑO	APORTACIÓN (hm³)	AÑO	APORTACIÓN (hm³)	AÑO	APORTACIÓN (hm³)
1997-98	587,424	1995-96	742,858	1998-99	443,099
2000-01	2180,313	1996-97	746,779	2001-02	266,564
2002-03	1115,041	1999-00	732,515	2004-05	437,048
2006-07	1406,016	2003-04	254,360	2008-09	160,829
Media	1322,198	2005-06	490,050	Media	326,885
		2007-08	935,384		
		2009-10	222,877		
		Media	589,260		

Tabla 102. Años húmedos, medios y secos en régimen natural del tramo 2-3.
(Fuente: informe nº1 de IAHRIIS)

A título informativo se recogen los valores registrados máximos y mínimos en cada régimen en la siguiente Tabla:



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

	RÉGIMEN NATURAL		RÉGIMEN ALTERADO	
	Máxima (hm ³ /año)	Mínima (hm ³ /año)	Máxima (hm ³ /año)	Mínima (hm ³ /año)
	2286,463	318,529	2180,313	160,829
Media	1302,496		1170,571	

Tabla 103. Aportaciones anuales máximas, mínimas y medias en régimen natural y alterado del tramo 2-3.
(Fuente: Elaboración propia)

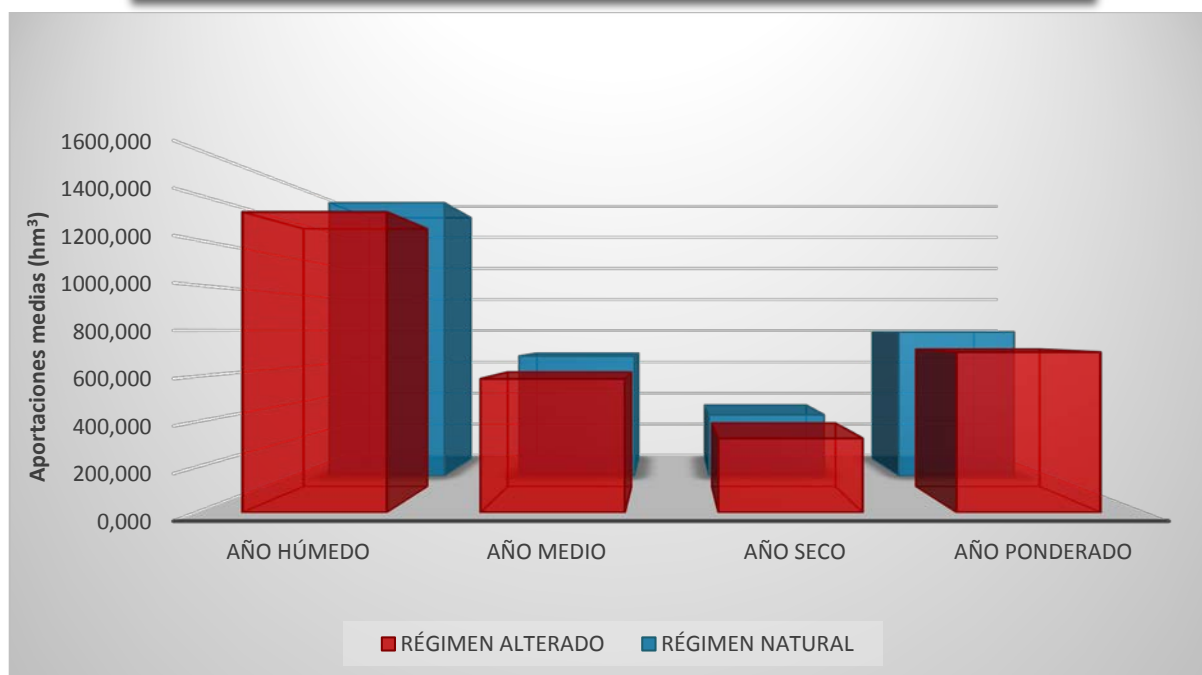


Figura 112. Aportaciones anuales medias por cada tipo de año en régimen natural y alterado del tramo 2-3.
(Fuente: Elaboración propia)

En la Tabla 104 pueden observarse las aportaciones anuales en ambos regímenes, así como el porcentaje correspondiente que supone el alterado frente al concebido como natural en este tramo:

TIPO DE AÑO	APORTACIÓN ANUAL		Alterado/Natural (%)
	RÉGIMEN NATURAL	RÉGIMEN ALTERADO	
Año húmedo	1504,824	1322,198	87,9
Año medio	661,826	589,260	89,0
Año seco	337,197	326,885	96,9
Año ponderado	791,418632	706,901032	89,3

Tabla 104. Aportaciones anuales por tipo de año en régimen natural y alterado del tramo 2-3.
(Fuente: Elaboración propia)

Las aportaciones anuales medias que se muestran tanto en la Tabla anterior como de manera gráfica en la Figura 111 revelan que la magnitud de aportaciones anuales se ha visto disminuida aunque de forma apenas



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

apreciable. En el tramo 1-2 la disminución de la magnitud de estas aportaciones es mayor, ya que aunque tampoco disminuyen de forma significativa, sí lo hacen en mayor medida en comparación con este tramo final del río Tera (tramo 2-3).

11.2.2. APORTACIONES MENSUALES

En este epígrafe se estudian las aportaciones mensuales que se presentan en ambos regímenes, corroborando que la magnitud de las aportaciones, una vez más, no se ve apenas alterada.

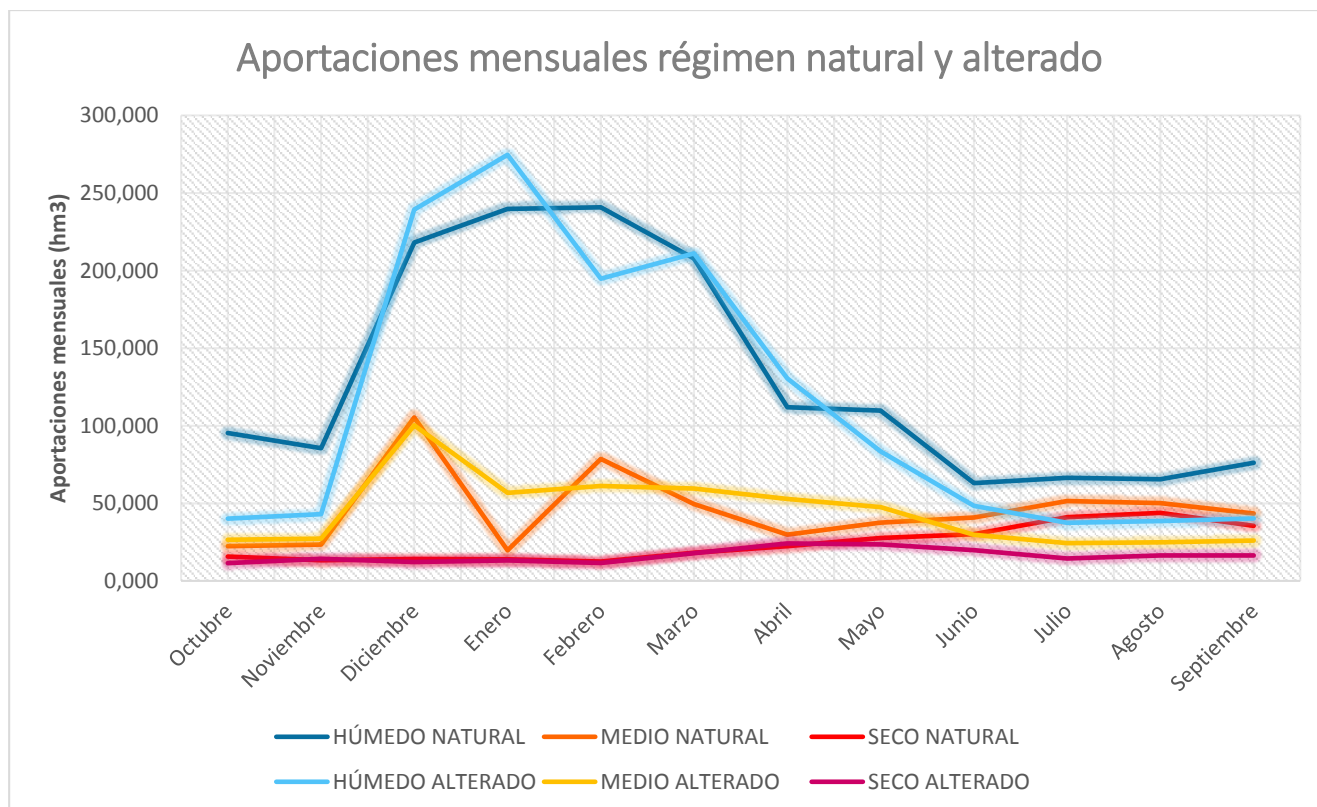


Figura 113. Aportaciones mensuales para cada año entre régimen natural y alterado del tramo 2-3.
(Fuente: Elaboración propia)

Con respecto a los **años húmedos**, la **magnitud** se ve alterada en algunos meses como diciembre y febrero el régimen alterado supera en magnitud a los caudales circulantes considerados naturales, en cambio decae en el mes de febrero estando por debajo del valor “natural”, también se puede considerar alterada en los meses estivales ya que disminuye claramente. La **variabilidad intranual** de este tipo de años no resulta muy alterada, conservándose las crecidas de los meses de diciembre a marzo y disminuyéndose las aportaciones en meses más calurosos.

Las aportaciones mensuales de los **años medios** se encuentran más alteradas que las de los años húmedos: la **magnitud** varía en los meses desde enero hasta septiembre, manteniéndose valores por encima o por debajo de los valores planteados como naturales y desciende visiblemente en verano. La **variabilidad intranual** resulta profundamente alterada ya que los picos entendidos como naturales no se mantienen y, como ya se ha mencionado, a partir de enero las aportaciones se mantienen constantes hasta los meses más calurosos, en los cuales disminuyen.

En cuanto a los **años secos** resultan los menos alterados, la **magnitud** apenas cambia excepto en meses de verano que disminuye de forma importante; la **variabilidad intranual** tampoco varía trascendentemente, las

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

aportaciones se mantienen prácticamente constantes al igual que en el régimen de caudales circulante analizado en el epígrafe anterior (epígrafe número 10).

APORTACIONES MENSUALES (hm ³)				
TIPO DE AÑO	HÚMEDO	MEDIO	SECO	Alterado/Natural (%) (año medio)
MES				
Octubre	80,681	18,924	13,278	118,81
Noviembre	72,338	19,799	11,273	116,49
Diciembre	204,652	89,071	11,973	95,29
Enero	202,797	16,713	11,635	287,08
Febrero	195,882	56,512	10,492	77,90
Marzo	175,732	41,931	15,363	120,09
Abril	94,727	25,239	18,984	177,03
Mayo	92,855	31,800	23,405	126,64
Junio	53,335	34,560	25,512	72,72
Julio	56,194	43,568	34,757	47,26
Agosto	55,448	42,455	37,072	49,68
Septiembre	64,425	36,790	30,014	59,75
Máximo	204,652	89,071	37,072	95,29
Media	112,422	38,114	20,313	97,21
Mínimo	53,335	16,713	10,492	123,20

Tabla 105. Aportaciones mensuales en régimen alterado del tramo 2-3.
(Fuente: Elaboración propia mediante informe nº3 de IAHRS)

En este caso las aportaciones de los años secos en verano disminuyen con respecto al régimen de caudales entendido como natural en este tramo, aún siendo así estas suponen las máximas aportaciones del año. Provocando de esta forma un cambio en la variación intranual.

La variabilidad intranual para el año medio resulta bastante reducida ya que, como se observa en la relación entre el régimen alterado y el natural de la Tabla 106, el régimen alterado difiere enormemente del natural, siendo sus aportaciones más constantes en el tiempo.

Aportación mensual												
TIPO DE RÉGIMEN	Oct**	Nov	Dic*	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun**	Jul	Ago	Sep
Régimen Natural	38,96	36,42	110,72	73,31	102,64	81,28	48,53	53,17	43,74	52,64	52,45	49,66
Régimen alterado	26,20	27,97	113,07	100,34	82,23	87,02	65,08	50,57	31,92	25,17	26,23	27,17
Alterado/Natural (%) (año medio)	67,26	76,79	102,12	136,87	80,11	107,07	134,10	95,11	72,97	47,81	50,01	54,71

*En color verde se detalla el mes que presenta el máximo de aportaciones mensuales con respecto al año ponderado para cada régimen.

**En color morado se presenta el mes con las mínimas aportaciones mensuales con respecto al año ponderado para cada régimen.

Tabla 106. Magnitud de las aportaciones mensuales para los dos regímenes correspondientes al año ponderado del tramo 2-3.
(Fuente: Elaboración propia)

La Tabla anterior muestra que los valores en el régimen alterado para el año ponderado disminuyen en los meses estivales, lo cual coincide con lo descrito en los años húmedos y medios. En los años secos se produce lo contrario: las aportaciones en los meses de verano aumentan considerablemente en el régimen alterado con respecto a los valores considerados naturales.



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO Esla

La estacionalidad varía notablemente ya que la mínima aportación se produce en meses muy dispares: en el caso de los caudales circulantes denominados naturales, esta se localiza en el mes de junio en el año ponderado, mientras que para el alterado lo hace en el mes de octubre. No obstante, la aportación máxima se produce en ambos regímenes en el mes de diciembre.

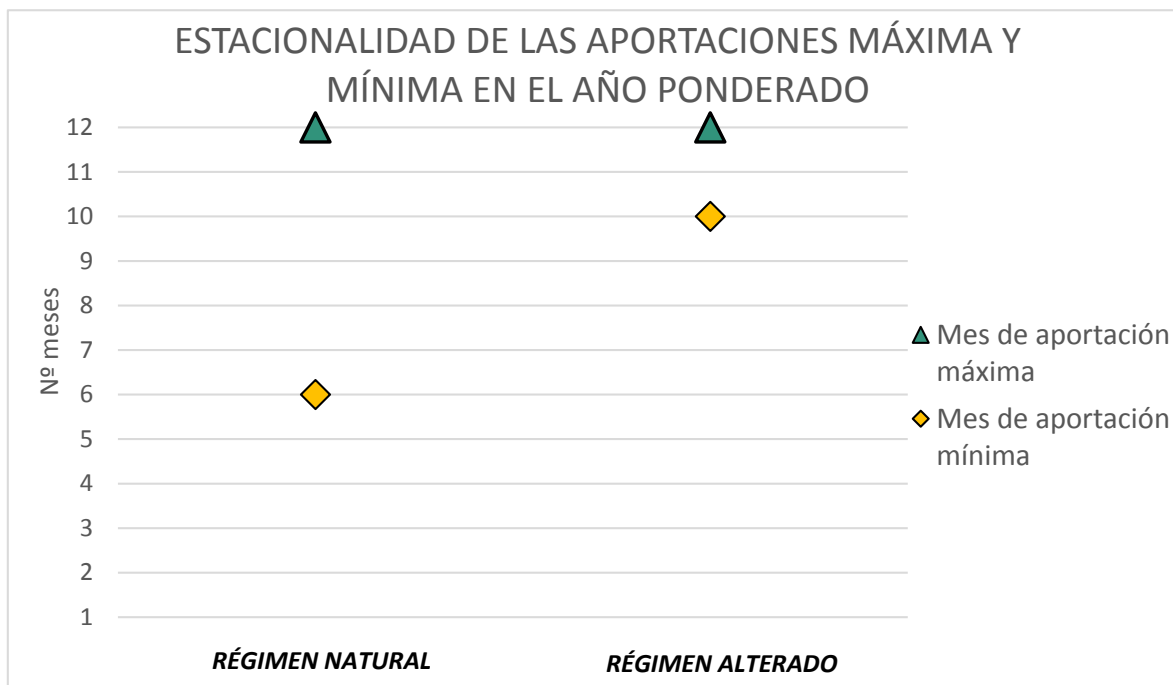


Figura 114. Estacionalidad de máximos y mínimos mensuales del año ponderado en el tramo 2-3.
(Fuente: Elaboración propia)

11.2.3. CAUDALES DIARIOS CIRCULANTES

La alteración de los caudales medios diarios va a ser estudiada a partir de la curva de caudales clasificados que, como ha quedado explicado, resulta muy eficaz a la hora de relacionar la magnitud de los caudales circulantes con el porcentaje de tiempo al año en que ese caudal es igualado o superado.

Esta curva para régimen natural y alterado (Figura 115) permite conocer diferentes aspectos:

- En primer lugar, es necesario mencionar que la variación entre curvas es poco apreciable, esto quiere decir que tanto los caudales altos como los bajos son similares con respecto al porcentaje de tiempo.
- Los caudales mayores o avenidas, que ocurren en el 5% del año, se corresponden con valores de más de 77,56 m³/s en régimen natural, variando escasamente en el alterado (78,30 m³/s).
- Los caudales menores o sequías tampoco varían de forma significativa entre un régimen y otro. Los acuíferos de la zona influyen en que el 90% del año los caudales sean superiores a los 5 m³/s.
- Entre los percentiles 10% y 60% es donde se encuentra la mayor diferencia entre regímenes, disminuyendo los caudales del alterado frente a los del considerado natural. Es decir, un 50% del año los regímenes difieren, aunque no de manera importante.

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

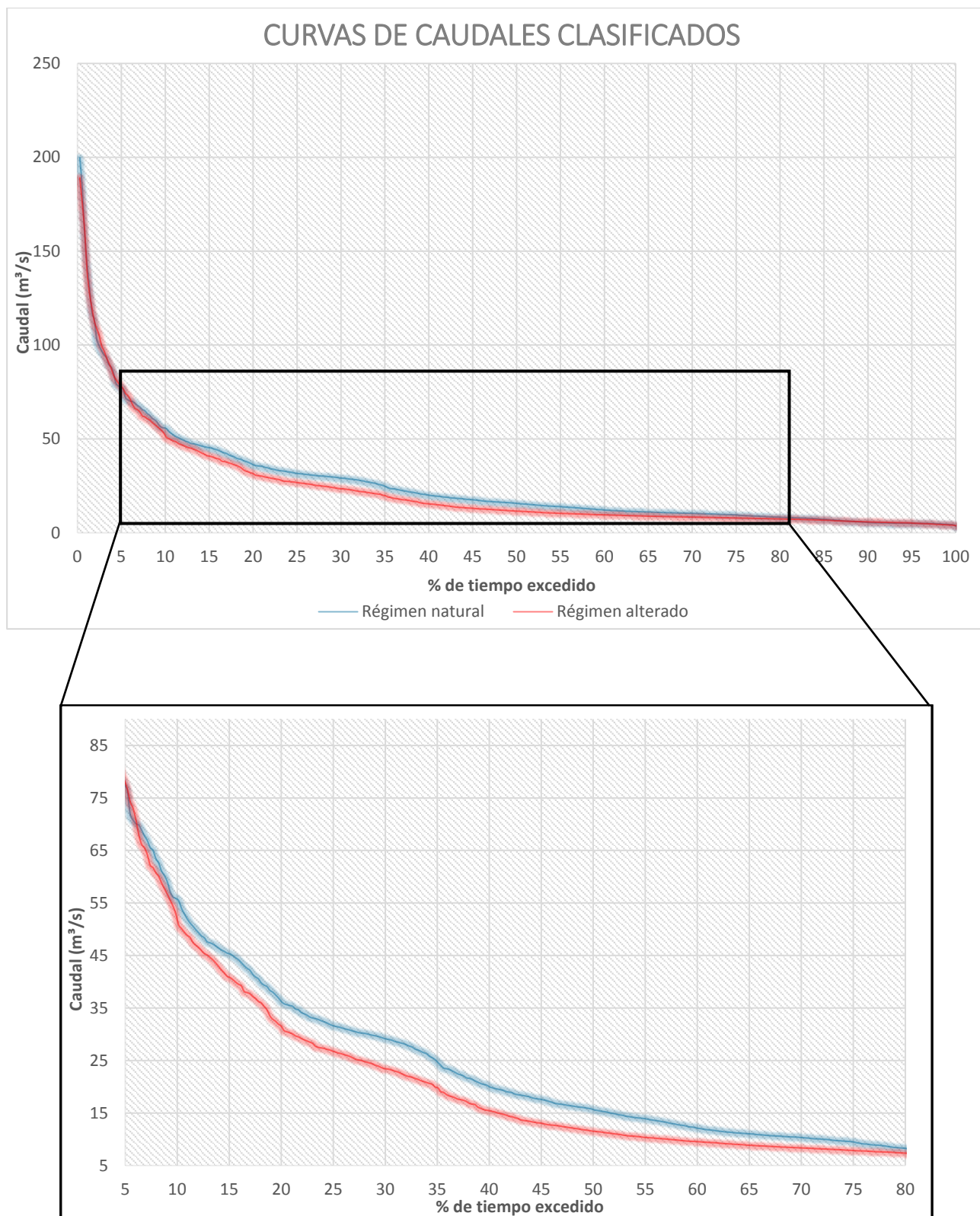


Figura 115. Curva de caudales clasificados en régimen natural y alterado del tramo 2-3.
(Fuente: Elaboración propia mediante informe nº6 IAHRIS)

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

TIPO DE RÉGIMEN	VARIABILIDAD DE CAUDALES DIARIOS		
	Q10% (m ³ /s)	Q90% (m ³ /s)	Q10% - Q90% (m ³ /s)
Régimen natural	55,44	5,47	49,97
Régimen alterado	50,81	5,78	45,03

Tabla 107. Caudales correspondientes a los percentiles de excedencia del 10 y 90% del tramo 2-3.
(Fuente: Elaboración propia)

La Tabla 107 y la Figura 116 muestran los distintos rangos de caudales que se mueven el 80% del año. Estos rangos (entre los percentiles 10 y 90%) se entienden como intervalos de la variabilidad habitual para cada uno de los regímenes. En el régimen considerado natural este intervalo es de unos 50 m³/s, en el alterado este disminuye a 45 m³/s lo cual no supone un gran cambio entre regímenes.

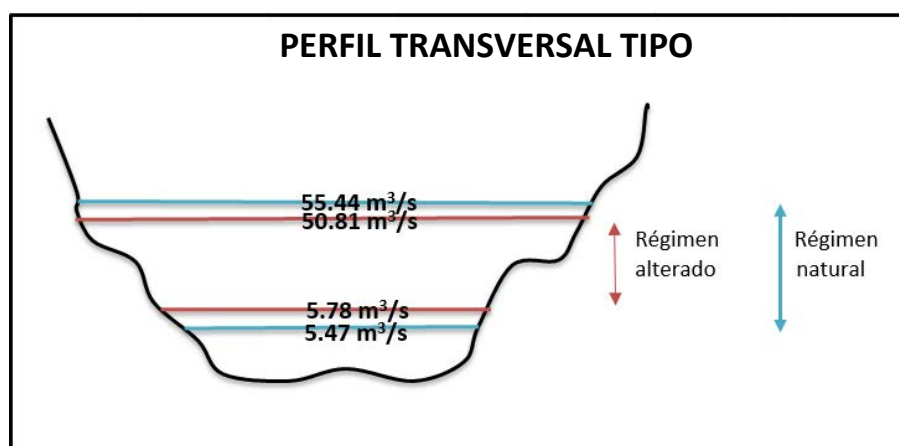


Figura 116. Perfil transversal tipo del río: Rangos de caudales el 80% del año del tramo 2-3.
(Fuente: Elaboración propia)

11.2.4. AVENIDAS

11.2.4.1. MAGNITUD Y FRECUENCIA

La magnitud de las avenidas se mantiene en ambos regímenes, es decir, la alteración de este aspecto es prácticamente nula. Tanto la Tabla 108 como la Figura posterior muestran los valores del caudal generador del lecho, el caudal de conectividad, el de avenida habitual y el máximo anual para ambos regímenes, pudiéndose observar la mínima variación entre ellos.

TIPO DE RÉGIMEN	MAGNITUD DE LAS AVENIDAS			
	Q _{GL} (m ³ /s)	Q _{CONEC} (m ³ /s)	Q5% (m ³ /s)	Q _c (m ³ /s)
Régimen natural	268,8	401,2	77,26	199,68
Régimen alterado	252,1	375,23	77,9	188,97

Tabla 108. Caracterización de la magnitud de las avenidas en ambos regímenes del tramo 2-3.
(Fuente: Elaboración propia)



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

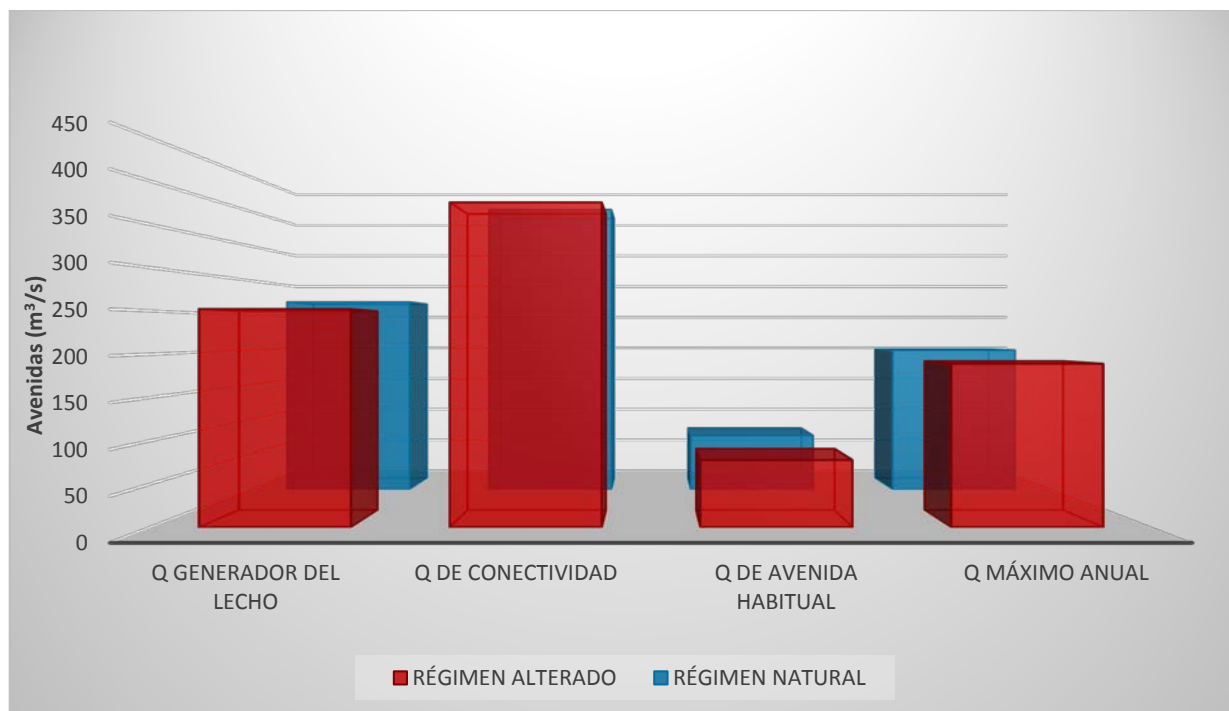


Figura 117. Magnitud de los diferentes tipos de avenidas en ambos regímenes del tramo 2-3.
(Fuente: Elaboración propia mediante IAHRIS)

Los caudales más afectados son el de conectividad y el máximo anual, mientras que el caudal de avenida habitual apenas varía.

11.2.4.2. VARIABILIDAD

La variabilidad de las avenidas, al igual que la magnitud y la frecuencia, no sufre cambios de un régimen a otro. Como se puede apreciar en la Tabla 109 tanto el coeficiente de variación de la serie de máximos caudales diarios anuales ($Q_{MÁX}$ o Q_c) y el coeficiente de variación de la serie de caudales que definen la avenida habitual ($Q_{5\%}$) mantienen valores similares en ambos regímenes.

TIPO DE RÉGIMEN	VARIABILIDAD DE LAS AVENIDAS	
	Coeficiente de variación $Q_{MÁX}$	Coeficiente de variación $Q_{5\%}$
Régimen natural	1,08	1,04
Régimen alterado	1,06	1,08

Tabla 109. Caracterización de la variabilidad de las avenidas en ambos regímenes del tramo 2-3.
(Fuente: Elaboración propia)

11.2.4.3. DURACIÓN

La duración de las avenidas es el aspecto que menos varía entre regímenes, manteniéndose los 9 días de duración como se especifica en la siguiente Tabla:

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

TIPO DE RÉGIMEN	DURACIÓN DE LAS AVENIDAS	
	Q5% (m ³ /s)	Duración avenida (días)
Régimen natural	77,26	9,07
Régimen alterado	77,9	9,13

Tabla 110. Caracterización de la duración de las avenidas en ambos regímenes del tramo 2-3.
(Fuente: Elaboración propia)

11.2.4.4. ESTACIONALIDAD

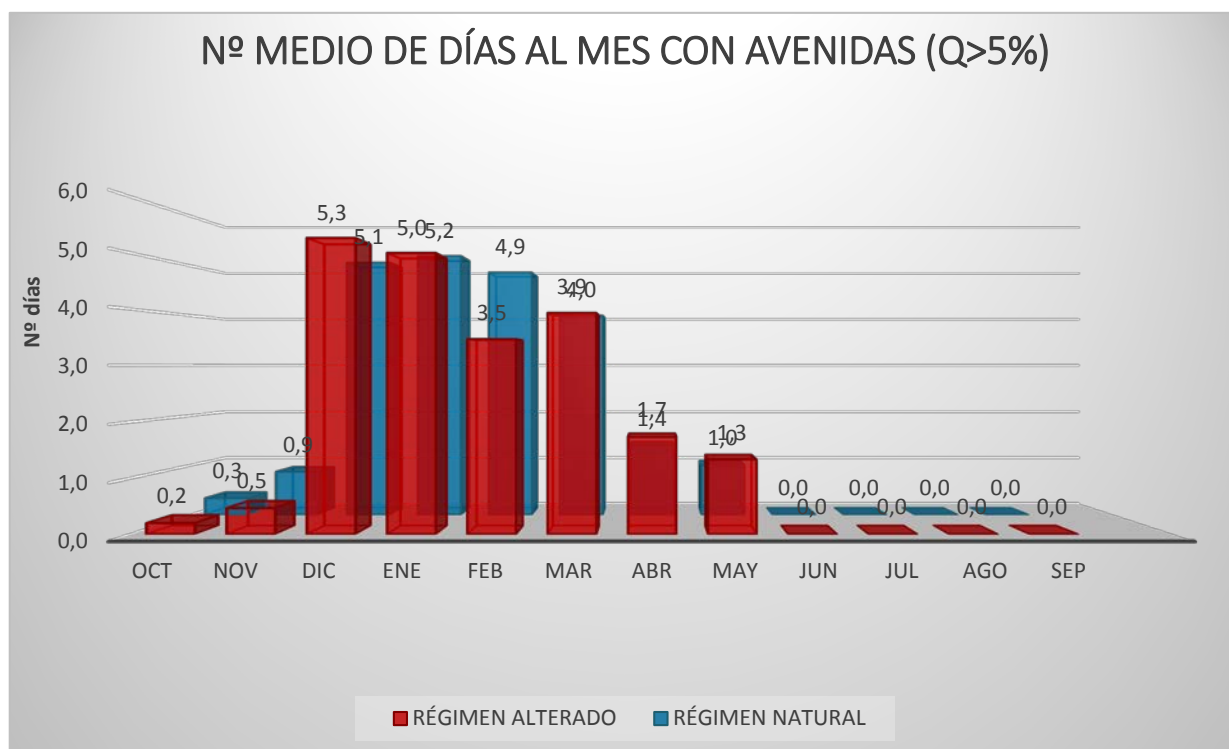


Figura 118. Estacionalidad de las avenidas en ambos regímenes del tramo 2-3.
(Fuente: Elaboración propia)

El tramo 2-3 conserva el patrón de estacionalidad del régimen alterado, sin sufrir cambios bruscos en el número de días consecutivos con avenidas.

11.2.5. SEQUÍAS

11.2.5.1. MAGNITUD Y FRECUENCIA

La magnitud de las sequías medias mínimas y habituales apenas se ha visto modificada. En el régimen alterado esta magnitud ha incrementado, aunque en menos de un 5% como se puede apreciar en la Figura 119.

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

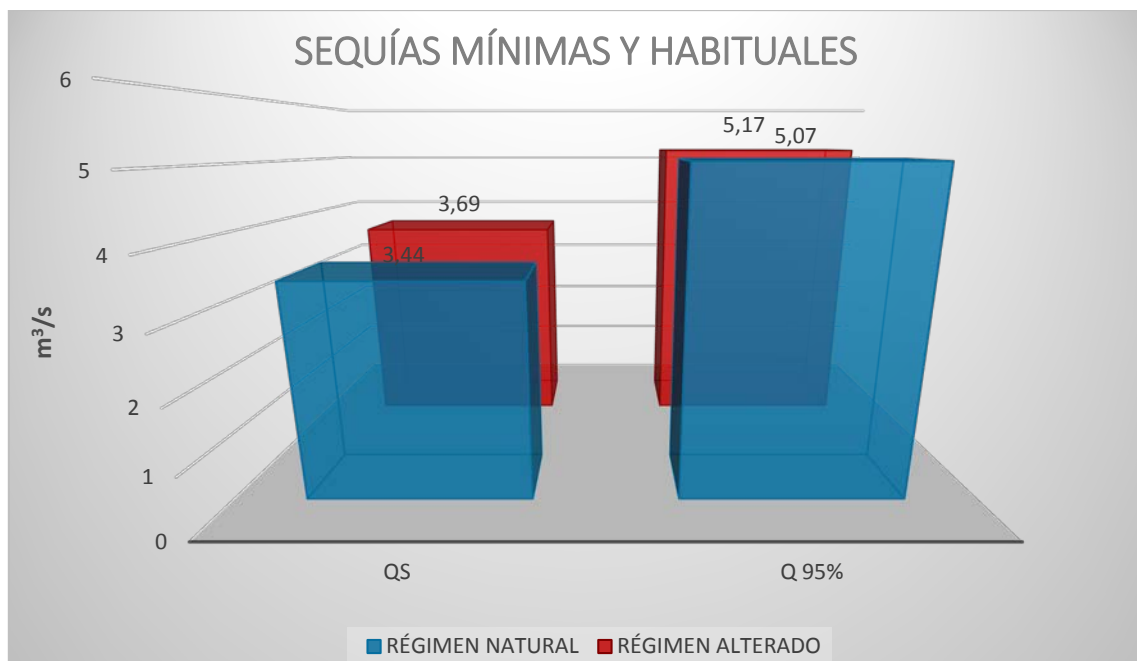


Figura 119. Magnitud de las sequías en ambos regímenes del tramo 2-3.
(Fuente: Elaboración propia)

11.2.5.2. VARIABILIDAD

La variabilidad queda evaluada a través de los coeficientes de variación de la serie de mínimos caudales diarios anuales (Q_{\min} o Q_s) y el coeficiente de variación de la serie de caudales que definen la sequía habitual ($Q_{95\%}$).

Tal y como se muestra en la Tabla 111 se percibe que la variabilidad disminuye con respecto a los caudales mínimos diarios anuales, mientras que para la sequía habitual esta variabilidad se ve incrementada. Esto quiere decir que los caudales mínimos extremos anuales mantienen su variabilidad, en tanto que los caudales correspondientes a la sequía habitual han incrementado su variabilidad.

TIPO DE RÉGIMEN	VARIABILIDAD DE LAS AVENIDAS	
	Coeficiente de variación Q_{\min}	Coeficiente de variación $Q_{95\%}$
Régimen natural	0,52	0,06
Régimen alterado	0,39	0,44

Tabla 111. Caracterización de la variabilidad de las sequías en ambos regímenes del tramo 2-3.
(Fuente: Elaboración propia)

11.2.5.3. DURACIÓN

TIPO DE RÉGIMEN	DURACIÓN DE LAS SEQUÍAS	
	$Q_{95\%}$ (m³/s)	Duración sequía (días)
Régimen natural	5,07	6,93
Régimen alterado	5,17	29,20

Tabla 112. Caracterización de la magnitud de las sequías en ambos regímenes del tramo 2-3.
(Fuente: Elaboración propia)



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO Esla

El número de días consecutivos de sequía se han visto incrementados drásticamente, con una subida de un 75% con respecto al régimen de caudales denominado natural. Esto da lugar a mayores períodos de sequías, pudiendo generar problemas a las especies presentes en el ecosistema al no poder adaptarse correctamente a estas condiciones.

11.2.5.4. ESTACIONALIDAD

La estacionalidad del tramo 2-3 no se ha visto enormemente cambiada de un régimen a otro, si bien es cierto que el número de días de sequía se han visto aumentados en los meses de octubre a diciembre y en verano. El patrón de estacionalidad del régimen considerado natural se conserva en el alterado como se observa en la Figura posterior.

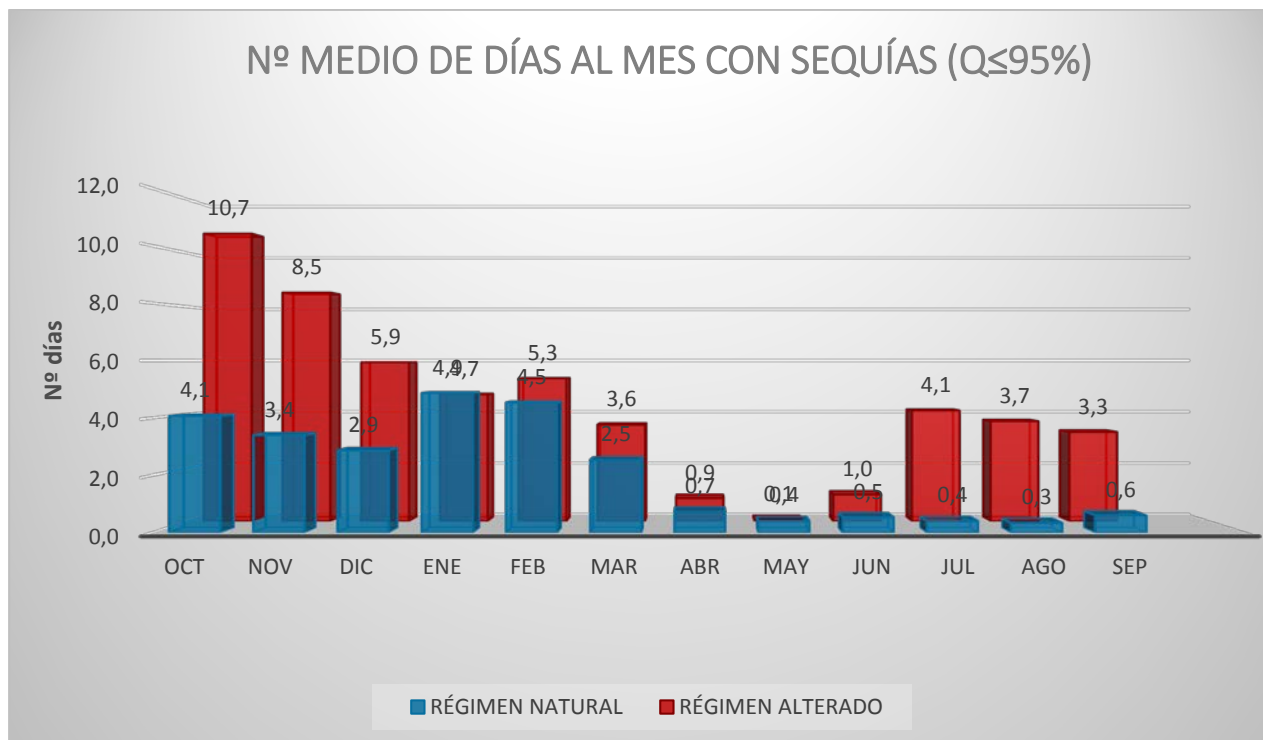


Figura 120. Estacionalidad de las sequías en ambos regímenes del tramo 2-3.
(Fuente: Elaboración propia)

11.3. ÍNDICES DE ALTERACIÓN HIDROLÓGICA

11.3.1. VALORES HABITUALES

La alteración de los valores habituales queda evaluada de forma independiente para cada tipo de año, incluido el ponderado. A continuación se exponen los diferentes resultados obtenidos de los informes nº7.

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

ASPECTO		INDICES DE ALTERACIÓN HIDROLÓGICA (IAH)			NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	NIVEL IV	NIVEL V
		VALOR	CÓDIGO	DENOMINACIÓN	$0,8 < I \leq 1$	$0,6 < I \leq 0,8$	$0,4 < I \leq 0,6$	$0,2 < I \leq 0,4$	$0 < I \leq 0,2$
VALORES HABITUALES AÑO HÚMEDO	magnitud	0,84	IAH1 húm	Magnitud de las aportaciones anuales					
		0,71 *	IAH2 húm	Magnitud de las aportaciones mensuales					
	variabilidad	0,77	IAH3 húm	Variabilidad habitual					
		0,94 **	IAH4 húm	Variabilidad extrema					
	estacionalidad	1,00	IAH5 húm	Estacionalidad de máximos					
		0,67	IAH6 húm	Estacionalidad de mínimos					
VALORES HABITUALES AÑO MEDIO	magnitud	0,76	IAH1 med	Magnitud de las aportaciones anuales					
		0,69 *	IAH2 med	Magnitud de las aportaciones mensuales					
	variabilidad	0,70	IAH3 med	Variabilidad habitual					
		0,73 **	IAH4 med	Variabilidad extrema					
	estacionalidad	0,93	IAH5 med	Estacionalidad de máximos					
		0,67	IAH6 med	Estacionalidad de mínimos					
VALORES HABITUALES AÑO SECO	magnitud	0,71	IAH1 sec	Magnitud de las aportaciones anuales					
		0,65 *	IAH2 sec	Magnitud de las aportaciones mensuales					
	variabilidad	0,69	IAH3 sec	Variabilidad habitual					
		0,62 **	IAH4 sec	Variabilidad extrema					
	estacionalidad	0,33	IAH5 sec	Estacionalidad de máximos					
		0,46	IAH6 sec	Estacionalidad de mínimos					
VALORES HABITUALES AÑO PONDERADO	magnitud	0,77	IAH1 pon	Magnitud de las aportaciones anuales					
		0,69	IAH2 pon	Magnitud de las aportaciones mensuales					
	variabilidad	0,72	IAH3 pon	Variabilidad habitual					
		0,76	IAH4 pon	Variabilidad extrema					
	estacionalidad	0,80	IAH5 pon	Estacionalidad de máximos					
		0,61	IAH6 pon	Estacionalidad de mínimos					

* Inverso ** Indeterminación *** Inverso e Indeterminación # No se puede calcular

ÍNDICES DE ALTERACIÓN GLOBAL				NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	NIVEL IV	NIVEL V
ASPECTO	VALOR	CÓDIGO		$0,64 < I \leq 1$	$0,36 < I \leq 0,64$	$0,16 < I \leq 0,36$	$0,04 < I \leq 0,16$	$0 < I \leq 0,04$
VALORES HABITUALES AÑO HÚMEDO	0,67	IAG _H AÑO HÚMEDO						
VALORES HABITUALES AÑO MEDIO	0,55	IAG _H AÑO MEDIO						
VALORES HABITUALES AÑO SECO	0,33	IAG _H AÑO SECO						
VALORES HABITUALES AÑO PONDERADO	0,52	IAG _H AÑO PONDERADO						

Tabla 113. Índices de alteración hidrológica y de alteración global para valores habituales del tramo 2-3.
(Fuente: Informe nº7 de IAHRIS)

En general todos los tipos de año se caracterizan por un estado ecológico bueno ya que la mayoría de sus parámetros se corresponden con el **nivel II** marcado por IAHRIS, concretamente:

El **año húmedo** es el menos alterado, tres de sus parámetros se incluyen en el nivel I y los otros tres en el nivel II. Su índice de alteración global alcanza un valor de 0,67, lo cual quiere decir que este tipo de año, aunque este valor se aproxime al nivel II, queda englobado dentro del **nivel I**.

En cuanto al **año medio**, todos los índices se encuentran en el nivel II, excepto la estacionalidad de los máximos que, con un valor de 0,93, se corresponde con el nivel I. El índice de alteración global indica que este tipo de año queda recogido en el **nivel II**.

El tipo de **año seco**, al contrario que los anteriores, se caracteriza por la pronunciada alteración de la estacionalidad, concretamente la de los máximos que se encuentra en un nivel IV. La magnitud y la variabilidad se corresponden con un buen estado (nivel II), sin haberse modificado claramente de un régimen a otro. En relación a la alteración de la estacionalidad, el índice de alteración global (0,33) muestra que los años secos se encuentran dentro de un nivel menor con respecto a los húmedos y los medios: el **nivel III**. Por lo tanto, los años secos son los que resultan más perjudicados en este tramo del río. La Figura 121 refleja claramente tales alteraciones:



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

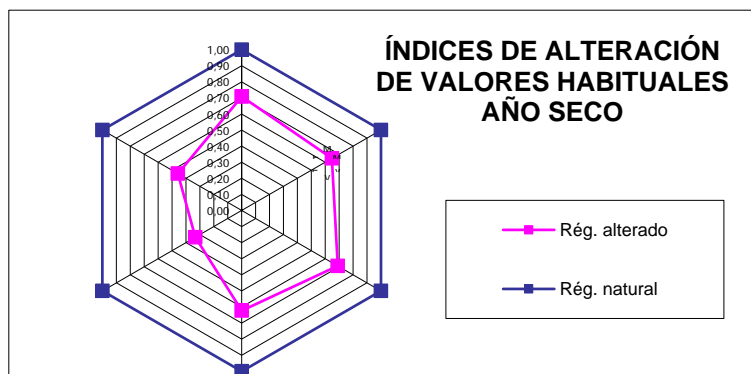


Figura 121. Índices de alteración hidrológica para el año seco del tramo 2-3.
(Fuente: Informe nº 7 de IAHRIS)

El **año ponderado**, que abarca los tres años anteriormente descritos, refleja que de manera global el estado del ecosistema fluvial con respecto a los valores habituales es bueno, presentándose dentro del **nivel II** establecido por IAHRIS.

11.3.2. AVENIDAS

Como se muestra en la Tabla 114 las avenidas no muestran alteración a tener en cuenta, todos los índices (con valores mayores de 0,85) indican que se engloban dentro del **nivel I** y, por tanto, presentan un estado excelente con respecto al régimen considerado natural.

ASPECTO		ÍNDICES DE ALTERACIÓN HIDROLÓGICA (IAH)			NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	NIVEL IV	NIVEL V
		VALOR	CÓDIGO	DENOMINACIÓN	$0,8 < I \leq 1$	$0,6 < I \leq 0,8$	$0,4 < I \leq 0,6$	$0,2 < I \leq 0,4$	$0 < I \leq 0,2$
AVENIDAS	magnitud	0,95	IAH7	Magnitud de las avenidas máximas					
		0,97	IAH8	Magnitud del caudal generador del lecho					
		0,86 *	IAH9	Frecuencia del caudal de conectividad					
		0,99 *	IAH10	Magnitud de las avenidas habituales					
	variabilidad	0,98	IAH11	Variabilidad de las avenidas máximas					
		0,96 *	IAH12	Variabilidad de las avenidas habituales					
	duración	0,99 *	IAH13	Duración de avenidas					
	estacionalidad	0,95	IAH14	Estacionalidad de avenidas					

* Inverso ** Indeterminación *** Inverso e Indeterminación # No se puede calcular

Tabla 114. Índices de alteración hidrológica para avenidas del tramo 2-3.
(Fuente: Informe nº7 de IAHRIS)

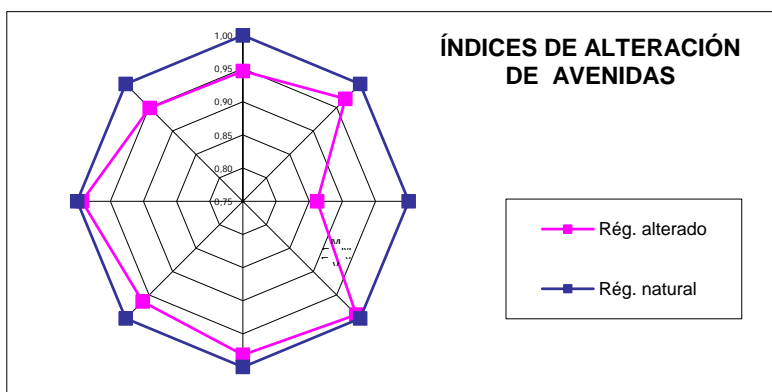


Figura 122. Índices de alteración hidrológica para avenidas del tramo 2-3.
(Fuente: Informe nº 7 de IAHRIS)

A través de la Figura 122 se observa que la alteración en las avenidas es muy escasa, como anteriormente se ha explicado.

El índice global de las avenidas alcanza un valor de 0,92 perteneciendo estas al **nivel I** o de muy buen estado.



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

ÍNDICES DE ALTERACIÓN GLOBAL			NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	NIVEL IV	NIVEL V
ASPECTO	VALOR	CÓDIGO	0,64 < I ≤ 1	0,36 < I ≤ 0,64	0,16 < I ≤ 0,36	0,04 < I ≤ 0,16	0 < I ≤ 0,04
AVENIDAS	0,92	IAG _A					

Tabla 115. Índices de alteración global para avenidas del tramo 2-3.
(Fuente: Informe nº7 de IAHRIS)

11.3.3. SEQUÍAS

ASPECTO		ÍNDICES DE ALTERACIÓN HIDROLÓGICA (IAH)			NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	NIVEL IV	NIVEL V
		VALOR	CÓDIGO	DENOMINACIÓN	0,8 < I ≤ 1	0,6 < I ≤ 0,8	0,4 < I ≤ 0,6	0,2 < I ≤ 0,4	0 < I ≤ 0,2
SEQUIAS	magnitud	0,93 *	IAH15	Magnitud de las sequías extremas					
		0,98 *	IAH16	Magnitud de las sequías habituales					
	variabilidad	0,75	IAH17	Variabilidad de las sequías extremas					
		0,13 *	IAH18	Variabilidad de las sequías habituales					
	duración	0,24 *	IAH19	Duración de sequías					
		1,00	IAH20	Nº de días con Q=0					
	estacionalidad	0,57	IAH21	Estacionalidad de sequías					

* Inverso ** Indeterminación *** Inverso e Indeterminación # No se puede calcular

Tabla 116. Índices de alteración hidrológica para sequías del tramo 2-3.
(Fuente: Informe nº7 de IAHRIS)

Las sequías en el tramo 2-3 se caracterizan por presentar mayor alteración que los otros aspectos estudiados. La variabilidad de las sequías habituales es el elemento más afectado dentro de las sequías, con un valor del índice de alteración de 0,13, lo cual indica que se encuentra en el nivel más bajo de la clasificación de IAHRIS, en el **nivel V**. La duración de las sequías también se encuentra afectada, aunque de manera menos crítica, ya que se encuentra dentro del **nivel IV**. Es necesario mencionar que la estacionalidad es otro parámetro que se ve modificado de un régimen a otro, aunque en menor grado con respecto a la duración y la variabilidad de las sequías habituales ya que se corresponde con el **nivel III**. Los otros cuatro elementos que componen la evaluación de las sequías (magnitud de las sequías extremas y habituales, variabilidad de las sequías extremas y el número de días con caudal nulo) se mantienen entre regímenes, sin producirse alteraciones importantes.

ÍNDICES DE ALTERACIÓN MENSUALES	
MES	IAH21
Octubre	0,00
Noviembre	0,00
Diciembre	0,39
Enero	0,97
Febrero	0,84
Marzo	0,79
Abril	0,97
Mayo	0,93
Junio	0,91
Julio	0,25
Agosto	0,32
Septiembre	0,45

Tabla 117. Índice de estacionalidad de las sequías mensuales en el tramo 2-3. (Fuente: Informe nº 7 de IAHRIS)

Los resultados de la estacionalidad arrojados por el software muestran la profunda alteración en los meses de octubre y noviembre. Otros meses también resultan alterados aunque no de forma tan drástica (julio, agosto, septiembre y diciembre), mientras que los meses de enero a junio muestran valores del índice mayores que 0,78.

La Figura 123 refleja la intensa alteración que sufren las sequías en gran parte de sus parámetros al compararla con el régimen de caudales llamado natural en este tramo.



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

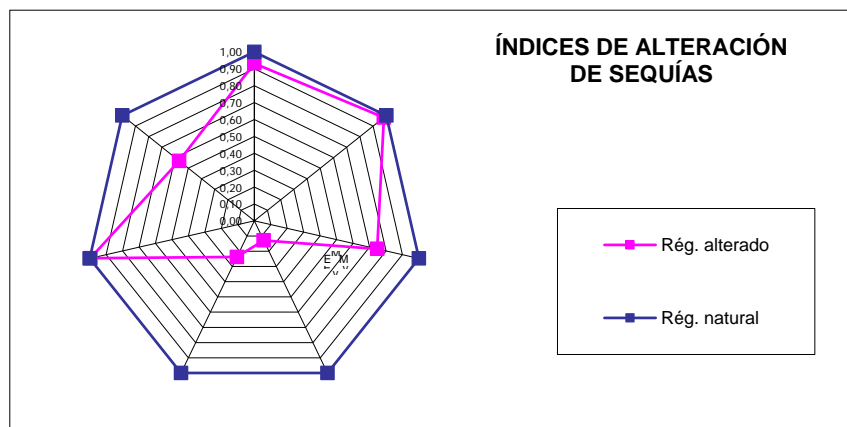


Figura 123. Índices de alteración hidrológica para sequías del tramo 2-3.
(Fuente: Informe nº 7 de IAHRIS)

El índice global de alteración calculado por IAHRIS alcanza un valor de 0,41, que sitúa a las sequías del tramo 2-3 del río Tera en el **nivel II** considerado de estado bueno, aunque muy cercano al nivel III. Las sequías se encuentran en este nivel debido a que los parámetros de nivel I compensan a los de niveles más bajos, por tanto la alteración percibida mediante el índice global no refleja concretamente la alteración que realmente sufre este tramo en relación con las sequías.

ÍNDICES DE ALTERACIÓN GLOBAL			NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	NIVEL IV	NIVEL V
ASPECTO	VALOR	CÓDIGO	0,64 < I ≤ 1	0,36 < I ≤ 0,64	0,16 < I ≤ 0,36	0,04 < I ≤ 0,16	0 < I ≤ 0,04
SEQUIAS	0,41	IAG _s					

Tabla 118. Índices de alteración global para sequías del tramo 2-3.
(Fuente: Informe nº7 de IAHRIS)

11.4. ANÁLISIS HIDROLÓGICO (MÉTODO IHA)

El análisis hidrológico del tramo 2-3 llevado a cabo por IHA complementa la información resultante de IAHRIS, al igual que en el tramo 1-2.

Este tramo ha sido evaluado por IHA mediante un análisis paramétrico de los datos de las estaciones anteriormente expuestas y sus resultados quedan presentados a continuación.

RÉGIMEN NATURAL Pre-impacto		RÉGIMEN ALTERADO Post-impacto		PROCESO
Estación	Periodo	Estación	Periodo	Comparación de dos estaciones
2034 (transformados los datos)	1995-2010 (15 años)	2099	1995-2010 (15 años)	

Tabla 119. Datos disponibles en régimen natural y alterado para el Estudio del tramo 2-3 con IHA.
(Fuente: Elaboración propia)

Como ha sido explicado en el Análisis Hidrológico (Método IHA) del primer tramo el análisis consiste en la comparación de dos estaciones (o datos) mediante la definición de tales como pre y post impacto.

11.4.1. MAGNITUD DE LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS MENSUALES

A través de la valoración conjunta de los años analizados se conoce que, tal y como se ha supuesto en epígrafes anteriores, el tramo 2-3 carece de variaciones considerables de la magnitud y la variabilidad entre años, ello queda reflejado en la siguiente Figura:

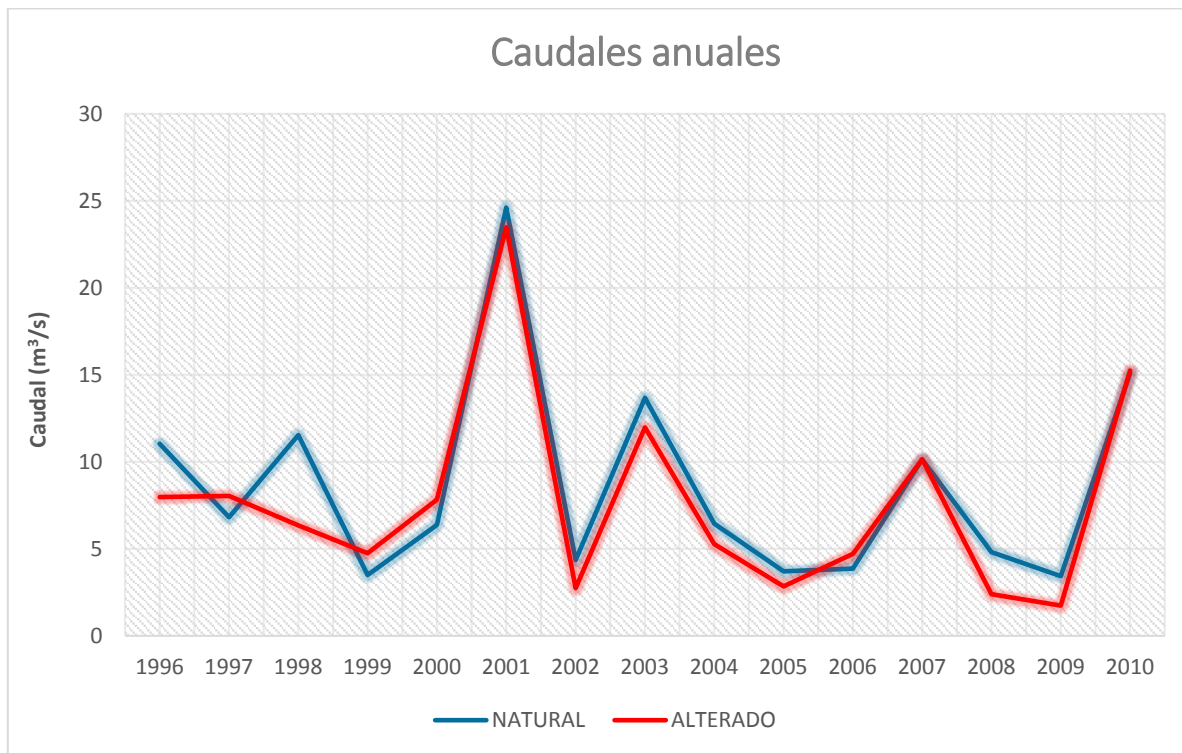


Figura 124. Caudales anuales en régimen natural y alterado entre 1996 y 2010 del tramo 2-3.
(Fuente: Elaboración propia)

Adicionalmente mediante las Figuras 126 y 127 se conoce que para cada año y para cada mes los caudales medios son similares entre un régimen y otro. No obstante, se observan variaciones en los meses de octubre y febrero, donde los caudales se ven reducidos. En cuanto a la variabilidad de estos caudales, el patrón establecido en el régimen que se ha calificado natural para la evaluación de este tramo se mantiene, siendo 2001 el año de caudales más elevados.

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

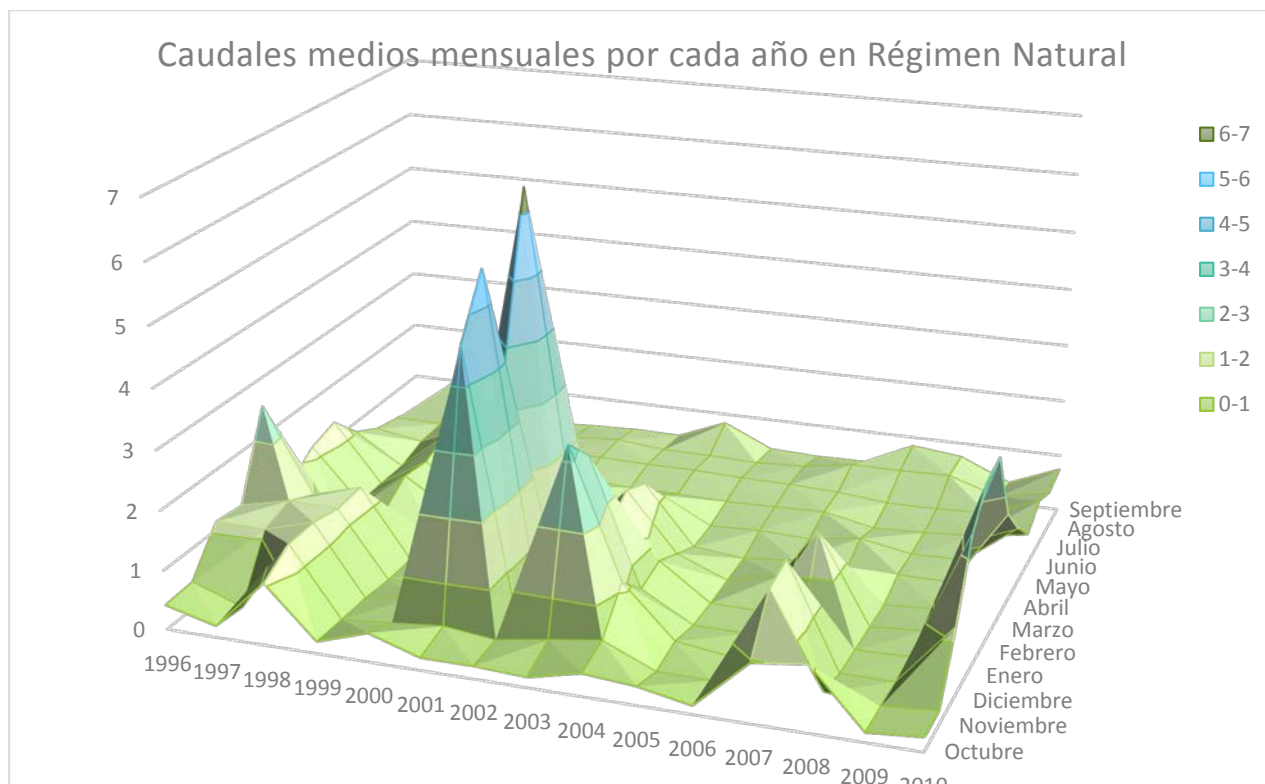


Figura 125. Caudales medios mensuales por cada año en régimen natural del tramo 2-3.
(Fuente: Elaboración propia)

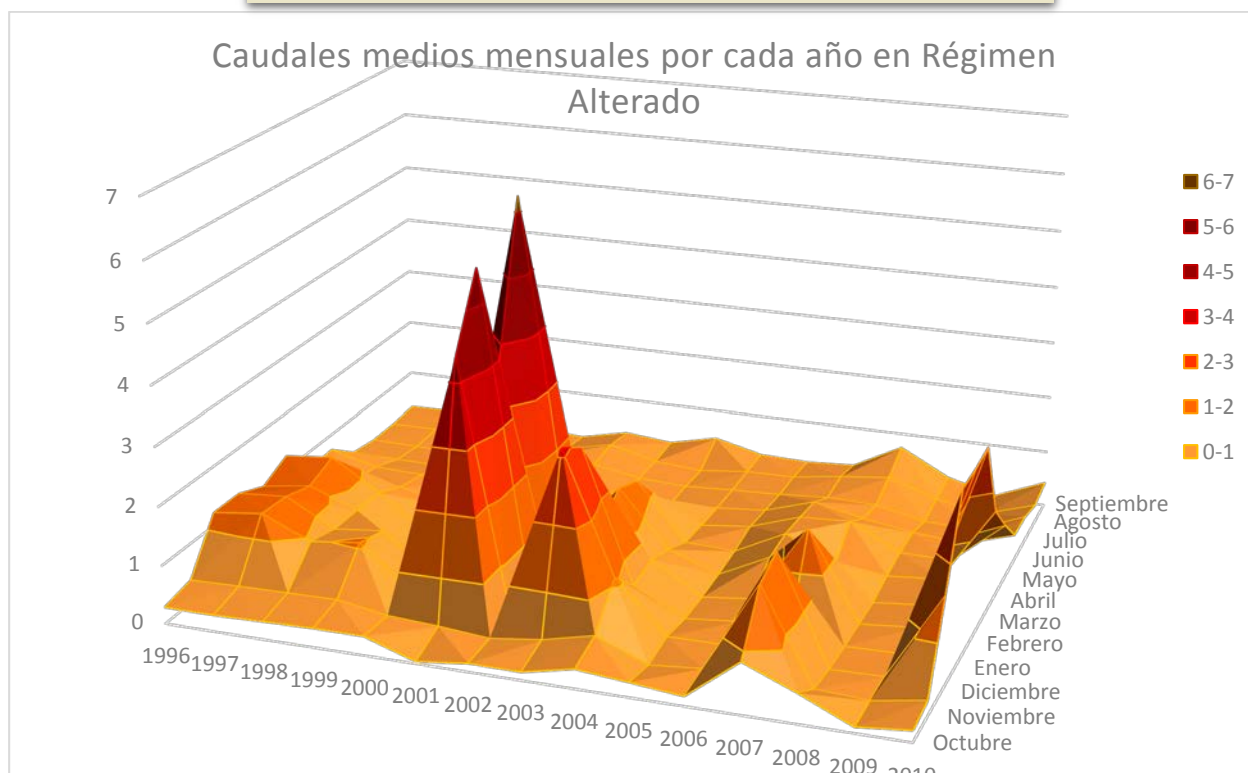


Figura 126. Caudales medios mensuales por cada año en régimen alterado del tramo 2-3.
(Fuente: Elaboración propia)

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

En general, los caudales medios mensuales han sufrido una leve disminución, que no supone una grave alteración aunque en algunos casos la magnitud en el régimen alterado se incrementa. Los aumentos del caudal más pronunciados se presentan en los años especificados en la siguiente Figura:

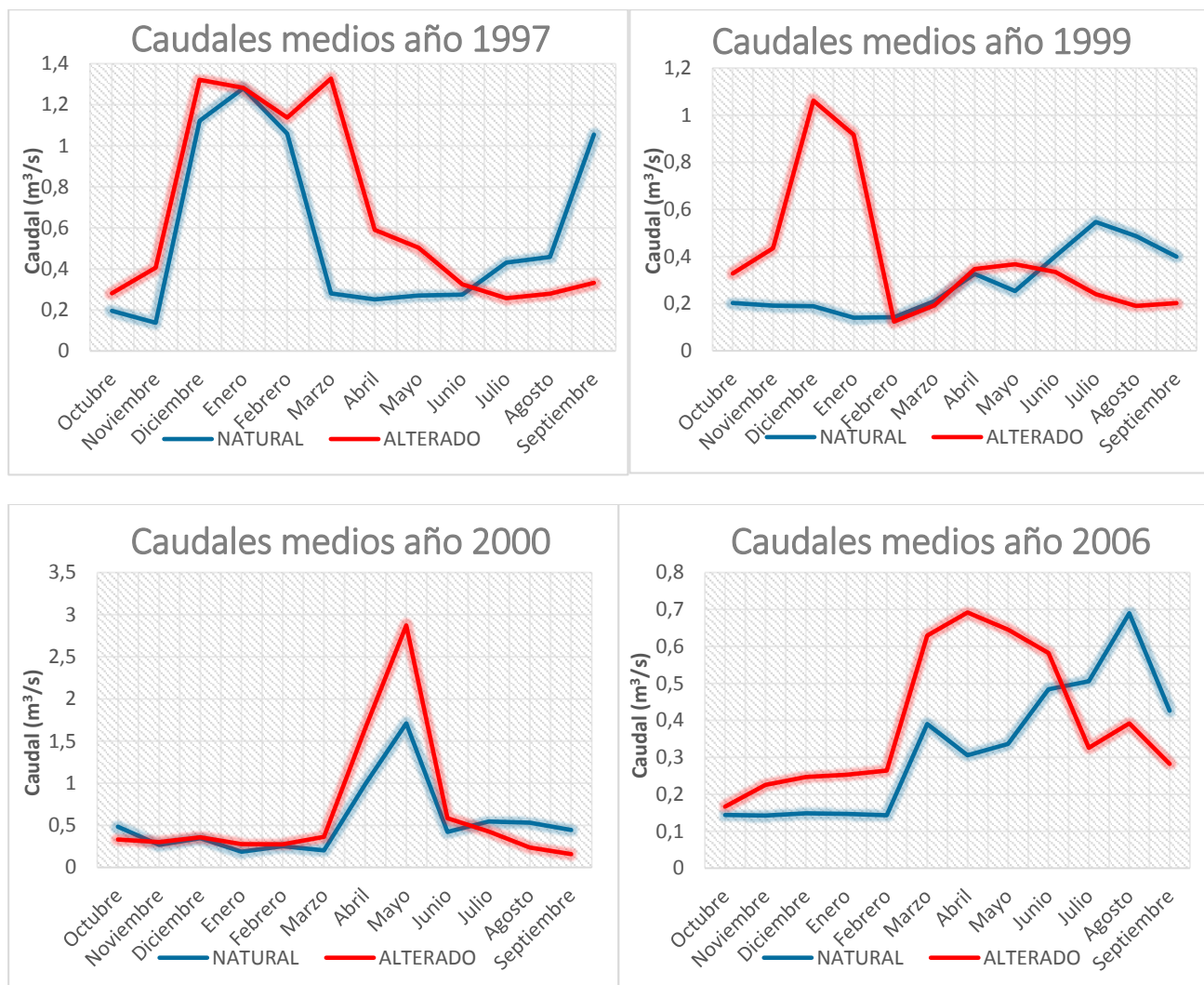


Figura 127. Caudales medios mensuales para los años 1997, 1999, 2000 y 2006 en ambos regímenes del tramo 2-3. (Fuente: Elaboración propia)

A través de las gráficas anteriores se puede concluir lo siguiente:

- En el año 1997 los caudales se ven aumentados desde el mes de noviembre hasta verano.
- El año 1999 se caracteriza por un aumento drástico de los caudales medios durante los meses de otoño e invierno.
- En el 2000 se mantienen magnitudes del caudal similares entre regímenes. No obstante, entre marzo y junio se produce un brusco aumento de estos caudales con respecto a los caudales circulantes entendidos como naturales.
- El año 2006 presenta una elevación patente de los caudales desde octubre a junio.

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

PARÁMETROS EVALUADOS	MEDIAS (m ³ /s)		FACTOR DE DESVIACIÓN	
	RÉGIMEN NATURAL	RÉGIMEN ALTERADO	Magnitud (m ³ /s)	Porcentaje (%)
Octubre	0,415	0,287	-0,128	-30,79
Noviembre	0,441	0,392	-0,049	-11,13
Diciembre	1,138	1,196	0,058	5,06
Enero	1,082	1,172	0,090	8,30
Febrero	1,082	0,958	-0,124	-11,49
Marzo	1,041	1,168	0,127	12,21
Abril	0,621	0,660	0,040	6,43
Mayo	0,624	0,670	0,046	7,45
Junio	0,485	0,345	-0,140	-28,95
Julio	0,558	0,268	-0,291	-52,08
Agosto	0,563	0,268	-0,295	-52,41
Septiembre	0,574	0,312	-0,262	-45,70

*La Magnitud perteneciente al Factor de Desviación indica la diferencia entre el régimen natural y el alterado (valor régimen natural – valor régimen alterado). El Porcentaje es el cociente entre la Magnitud y el valor del régimen natural.

*Tabla 120. Caudales medios mensuales en ambos regímenes del tramo 2-3.
(Fuente: Elaboración propia mediante Tabla de resultados de IHA paramétricos)*

El caudal medio mensual sufre mayores disminuciones que aumentos, ya que como se puede observar en la Tabla 121 los porcentajes de descenso de estos caudales son mayores con respecto a los que indican un aumento de este. En la Tabla incluida a continuación se muestran los valores máximos y los mínimos de las crecidas y de las disminuciones de tal caudal:

CRECIDA		DISMINUCIÓN	
Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
%: 12,21 Mes: marzo	%: 5,06 Mes: diciembre	%: -52,41 Mes: agosto	%: -11,13 Mes: noviembre

*Tabla 121. Porcentajes del factor de desviación máximos y mínimos de las crecidas y las disminuciones del tramo 2-3.
(Fuente: Elaboración propia mediante Tabla de resultados de IHA paramétricos)*

A través de esta Tabla se comprueba que los aumentos mensuales son muy bajos con respecto a los descensos: el porcentaje máximo de las crecidas es similar al mínimo de las disminuciones. A partir de estos parámetros evaluados es posible concluir que los meses de verano ven reducido su caudal medio a la mitad en los meses más calurosos (julio y agosto). Los aumentos del caudal medio no resultan patentes en este tramo del río, ya que la variación entre un régimen y otro es mínima.

En la Figura 128 se muestran los caudales medios mensuales mencionados con anterioridad. Los meses más alterados en relación a la magnitud de los caudales medios son julio y agosto en los cuales estos caudales se ven reducidos, como previamente se ha expuesto, mientras que los menos afectados de un régimen a otro son noviembre, diciembre, abril y mayo. Se observa que la diferencia entre regímenes es menor que en el tramo anterior, por lo tanto la alteración del tramo 2-3 respecto a la magnitud de los caudales mensuales es menor.



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

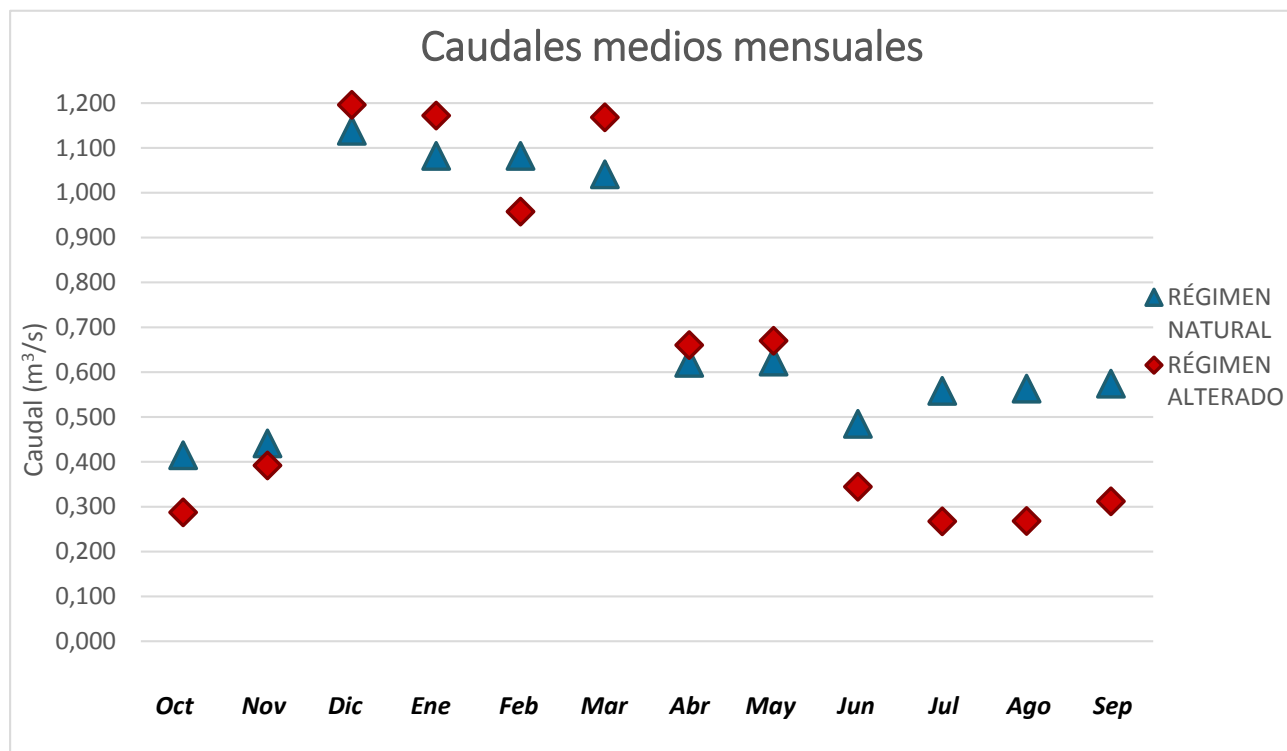


Figura 128. Caudales medios mensuales en ambos regímenes del tramo 2-3.
(Fuente: Elaboración propia)

11.4.2. MAGNITUD Y DURACIÓN DE LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS EXTREMAS ANUALES

Con el fin de evaluar las condiciones hidrológicas más extremas a escala anual se evalúan el caudal medio mínimo o máximo anual diario, en tres días, semanal, mensual y trimestral para ambos regímenes. De forma que en la siguiente Tabla se exponen tales parámetros, así como el número de días en los que el caudal es nulo y el índice caudal base:

PARÁMETROS EVALUADOS	MEDIAS (m³/s)		FACTOR DE DESVIACIÓN	
	RÉGIMEN NATURAL	RÉGIMEN ALTERADO	Magnitud (m³/s)	Porcentaje (%)
1-día mínimo	0,097	0,094	-0,003	-3,29
3-días mínimo	0,125	0,114	-0,011	-8,49
7-días mínimo	0,144	0,125	-0,019	-13,46
30-días mínimo	0,188	0,161	-0,027	-14,53
90-días mínimo	0,309	0,236	-0,073	-23,56
1-día máximo	5,654	5,347	-0,308	-5,44
3-días máximo	4,785	4,740	-0,046	-0,95
7-días máximo	3,610	3,668	0,058	1,59
30-días máximo	2,125	2,085	-0,040	-1,87
90-días máximo	1,450	1,429	-0,022	-1,50
**Número días cero caudal	0,267	0,000	-0,267	-100,00
Índice caudal base	0,272	0,290	0,017	6,33

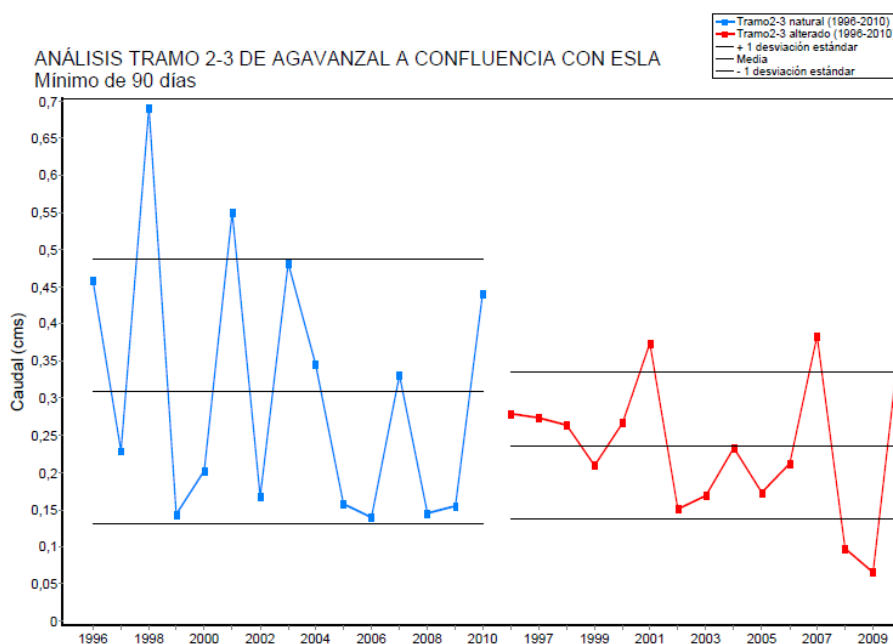
*La Magnitud perteneciente al Factor de Desviación indica la diferencia entre el régimen natural y el alterado (valor régimen natural – valor régimen alterado). El Porcentaje es el cociente entre la Magnitud y el valor del régimen natural.

Tabla 122. Resultados IHA para el grupo 2 de parámetros en ambos regímenes del tramo 2-3.
(Fuente: Elaboración propia mediante Tabla de resultados de IHA paramétricos)



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

En cuanto a los **valores mínimos**, se han visto reducidos aunque levemente ya que la variación máxima es de un 23% presentada en el valor trimestral, como ocurre en el tramo de embalses. De manera que los parámetros más alterados de este grupo de parámetros son los caudales mínimos semanales, mensuales y trimestrales, aunque esta variación sea mínima.

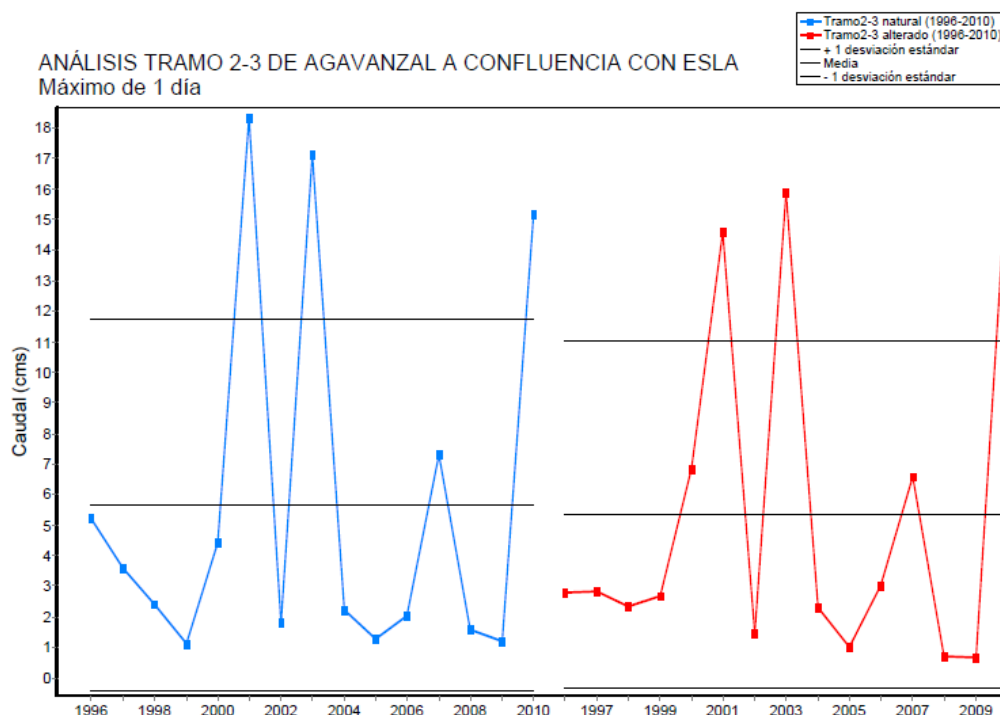


En la Figura 129 se puede apreciar dicha variación, en el régimen alterado el rango de variación entre años se reduce, además la desviación estándar de los datos también resulta muy reducida. Los datos, por tanto se aproximan más a la media, mientras que en el régimen considerado natural estos se encuentran más dispersos.

Las **condiciones hidrológicas máximas** resultan menos alteradas que las mínimas, ya que la variación máxima entre regímenes es de un 5% para el valor diario, por otro lado el valor que menos se ve alterado es el correspondiente a los tres días, con una diferencia de menos de un 1%. El valor máximo semanal es el único que se ve incrementado, aunque de forma insignificante.

La Figura 130 permite corroborar lo anteriormente explicado, de los parámetros de caudal máximo el referido al diario es el más alterado y, como se puede observar en dicha Figura, la variación es apenas apreciable: la media se mantiene, así como la desviación estándar, además la mayoría de los datos sigue encontrándose por debajo de la media.

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO Esla



Al contrario que los parámetros anteriores, el **número de días de caudal nulo** resulta profundamente alterado ya que se ve reducido de manera drástica: el número de días se ve disminuido a cero.

En relación al **índice caudal base**, como cabe esperar, no ha variado considerablemente ya que el mínimo semanal apenas se encuentra alterado.

11.4.3. TEMPORALIDAD DE LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS EXTREMAS ANUALES

En este epígrafe se exponen a modo informativo la fecha (media de los días julianos) en la cual se ha originado el caudal mínimo y el máximo.

TEMPORALIDAD DE CAUDALES EXTREMOS				
PARÁMETROS EVALUADOS	RÉGIMEN NATURAL	RÉGIMEN ALTERADO	FACTOR DE DESVIACIÓN	
			Magnitud (día)	Porcentaje (%)
Fecha Q_{MIN}	Día año juliano: 289,8 Mes: octubre	Día año juliano: 280,5 Mes: octubre	-9,3	-3,21
Fecha Q_{MAX}	Día año juliano: 349,9 Mes: diciembre	Día año juliano: 358,3 Mes: diciembre	8,4	2,4

*La Magnitud perteneciente al Factor de Desviación indica la diferencia entre el régimen natural y el alterado (valor régimen natural – valor régimen alterado). El Porcentaje es el cociente entre la Magnitud y el valor del régimen natural.

Tabla 123. Resultados IHA de evaluación de temporalidad de caudales extremos en ambos regímenes del tramo 2-3.
(Fuente: Elaboración propia mediante Tabla de resultados de IHA paramétricos)



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

La fecha en la que ocurren los mayores y menores caudales no varían de forma significativa, siendo el mes de octubre en el que se presenta el caudal mínimo y diciembre el máximo.

11.4.4. FRECUENCIA Y DURACIÓN DE LOS PULSOS ALTOS Y BAJOS

La cantidad de pulsos bajos presentes en el tramo 2-3 se ha visto disminuida considerablemente, tal y como se puede observar en la Tabla 124 en el porcentaje de factor de desviación (126,7%) este aspecto se encuentra profundamente alterado, reduciéndose el número de pulsos bajos en un tercio con respecto al valor calificado como natural en este tramo.

FRECUENCIA DE PULSOS BAJOS Y ALTOS				
	RÉGIMEN NATURAL	RÉGIMEN ALTERADO	Factor de desviación	
			Magnitud (nº pulsos)	Porcentaje (%)
Nº pulsos bajos	18,33	6,467	-11,86	-64,72
Nº pulsos altos	4,133	3,133	-1	-24,19

*La Magnitud perteneciente al Factor de Desviación indica la diferencia entre el régimen natural y el alterado (valor régimen natural – valor régimen alterado). El Porcentaje es el cociente entre la Magnitud y el valor del régimen natural.

Tabla 124. Resultados IHA de evaluación de la frecuencia de pulsos bajos y altos en ambos regímenes del tramo 2-3.
(Fuente: Elaboración propia mediante Tabla de resultados de IHA paramétricos)

A través de la Figura 131 se aprecia el elevado grado de alteración del tramo 2-3 en relación a los pulsos bajos que, como anteriormente se ha explicado, resultan altamente reducidos. Para el régimen alterado la mayoría de los datos se encuentran por debajo de la media, variando el número de pulsos bajos enormemente de unos años a otros.

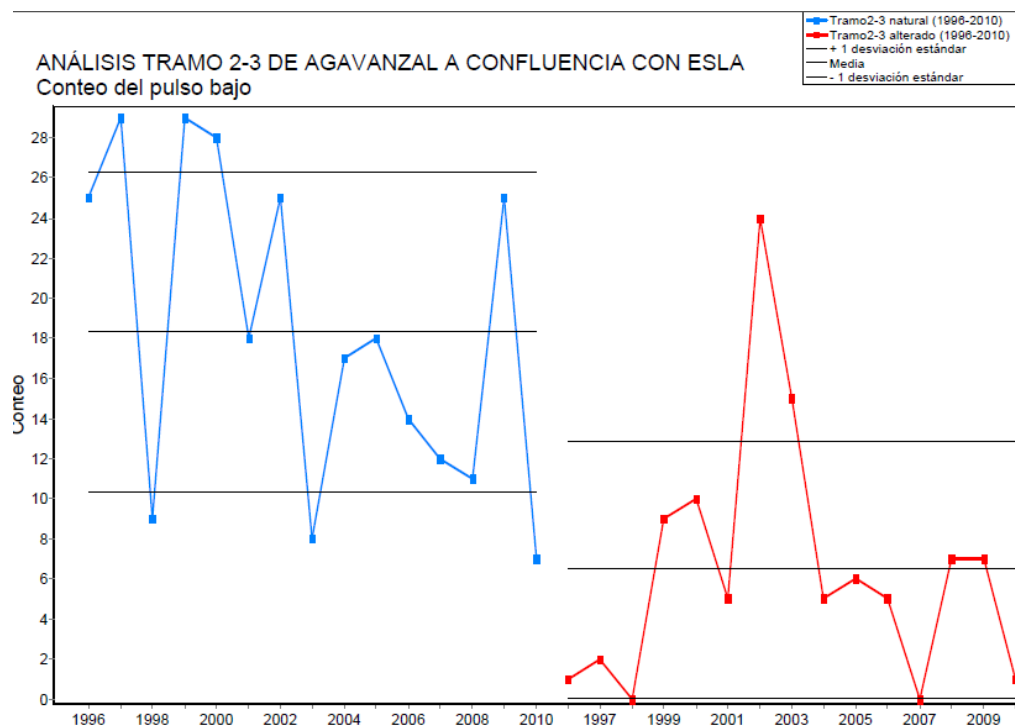


Figura 131. Número de días de pulso bajo en ambos regímenes del tramo 2-3.
(Fuente: IHA)



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

Los pulsos bajos, en cambio, no muestran un cambio excesivo entre regímenes, sino que mantienen el número de pulsos.

En las Figuras que aparecen a continuación se expone el número de pulsos que se presentan en cada año estudiado, de manera que se puede constatar que el número de pulsos bajos se encuentra en mayor nivel de alteración que los pulsos altos, que apenas ven afectada su cantidad.

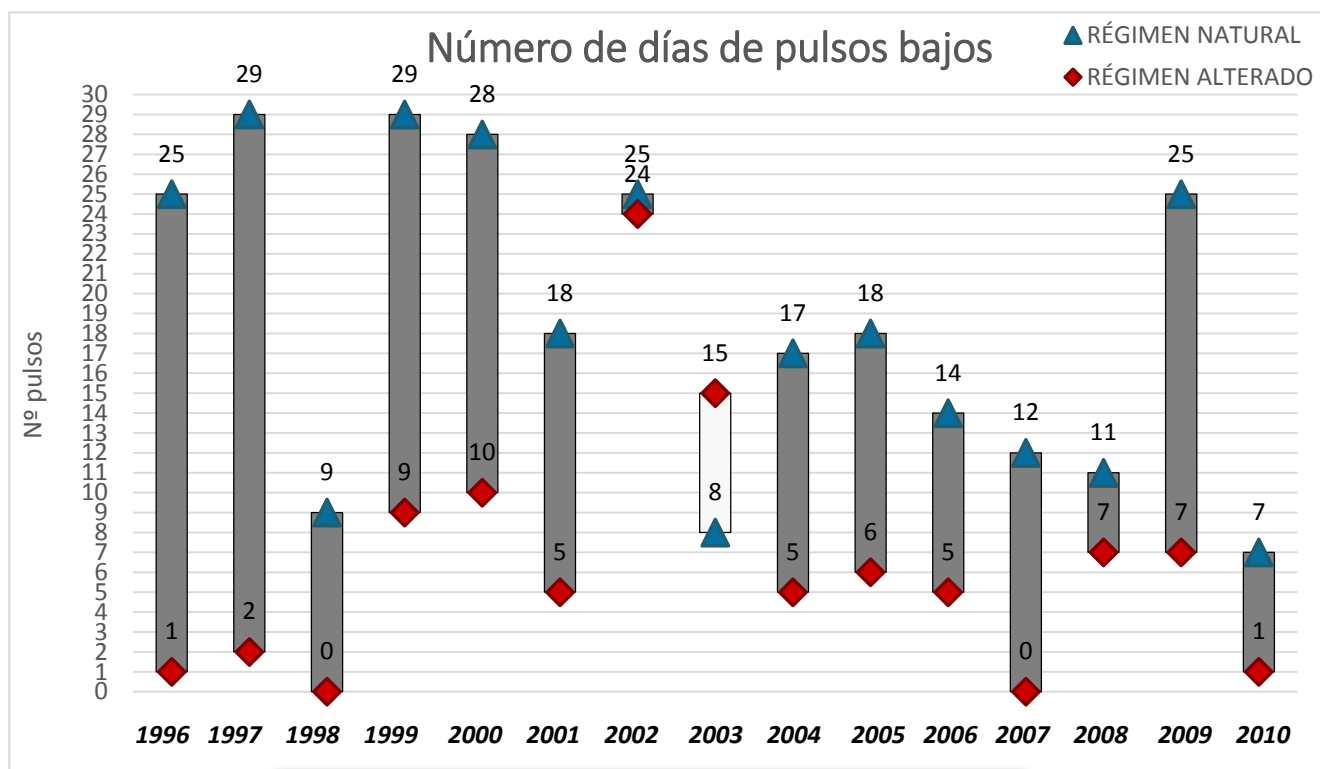


Figura 132. Número de pulsos bajos anuales en ambos regímenes del tramo 2-3.
(Fuente: Elaboración propia)

Como se aprecia en la Figura 132 los años analizados que sufren mayor alteración son 1996 y 1997, en los cuales el número de pulsos bajos desciende en más de un 90% con respecto al régimen entendido como natural. El año 2002 es el año menos alterado de todos los estudiados, sin alteración aparente entre regímenes. Únicamente en el año 2003 el número de pulsos bajos se ve incrementado.

En cuanto a los pulsos altos, se conoce mediante la Figura 134 que la alteración es mucho menor, como se ha expuesto previamente. No obstante, en el año 1998 se produce una variación del número de pulsos que debe tenerse en consideración ya que este se reduce en más de un 80%. Existen años que mantienen la cantidad de estos pulsos, estos son 1996, 2002, 2004, 2005, 2006, 2008, 2009 y 2010, lo cual resulta interesante ya que el año 1996 se encuentra gravemente afectado en los pulsos bajos mientras que en los altos no se produce alteración alguna.

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

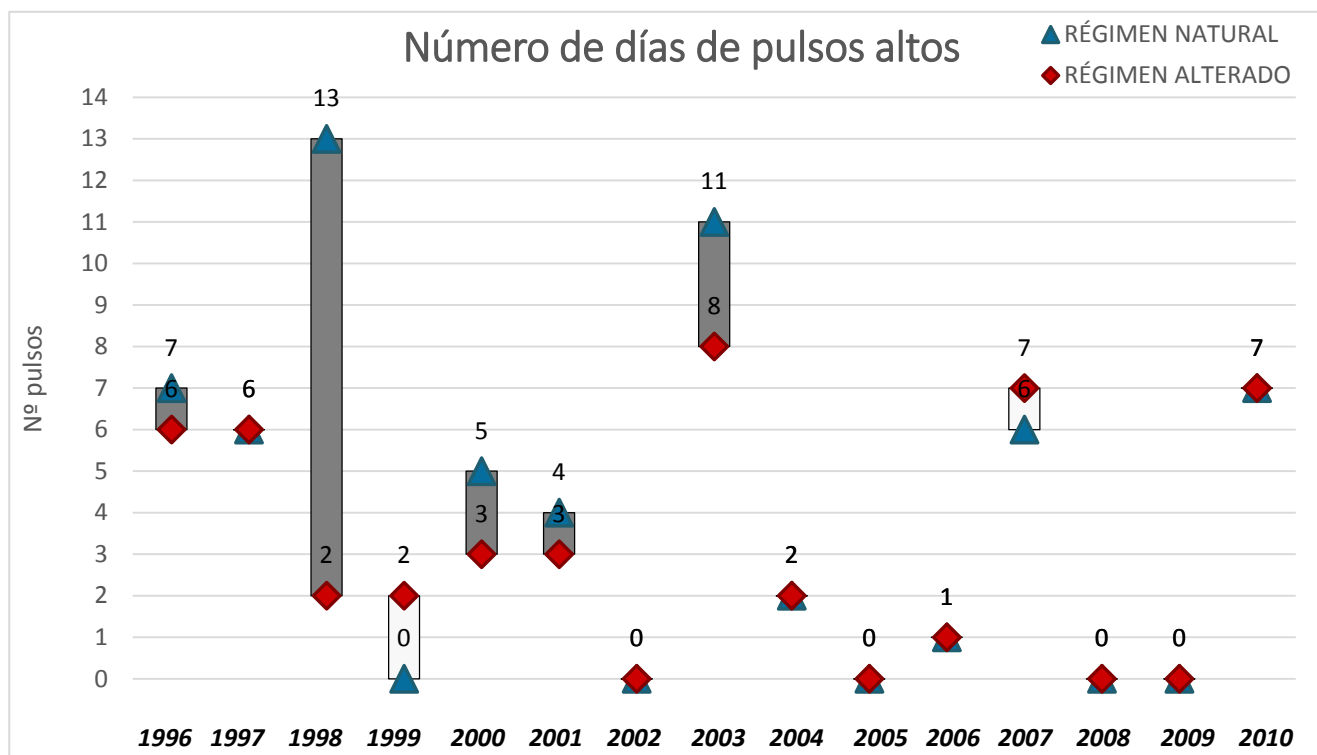


Figura 133. Número de pulsos altos anuales en ambos regímenes del tramo 2-3.
(Fuente: Elaboración propia)

En cuanto a la duración de pulsos bajos y altos, ambos resultan incrementados en el régimen alterado, como bien se puede observar en la Tabla 125. Los pulsos bajos se ven aumentados enormemente, con un factor de desviación de más del 90%.

DURACIÓN DE PULSOS BAJOS Y ALTOS				
	RÉGIMEN NATURAL	RÉGIMEN ALTERADO	Factor de desviación	
			Magnitud (nº pulsos)	Porcentaje (%)
Pulsos bajos	5,437	10,43	4,993	91,83
Pulsos altos	6,956	8,28	1,324	19,03

*La Magnitud perteneciente al Factor de Desviación indica la diferencia entre el régimen natural y el alterado (valor régimen natural – valor régimen alterado). El Porcentaje es el cociente entre la Magnitud y el valor del régimen natural.

Tabla 125. Resultados IHA de evaluación de la duración de pulsos bajos y altos en ambos regímenes del tramo 2-3.
(Fuente: Elaboración propia mediante Tabla de resultados de IHA paramétricos)

11.4.5. TASA Y FRECUENCIA DE LOS CAMBIOS DE LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS

En el tramo 2-3 las tasas de ascenso y descenso no sufren grandes cambios, aunque las segundas resultan más alteradas con un porcentaje de factor de desviación de 33%. No obstante, el número de inversiones se encuentra afectado significativamente, disminuyendo de 192 a 150.



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

TASA Y FRECUENCIA DE INVERSA DEL CAUDAL				
	RÉGIMEN NATURAL	RÉGIMEN ALTERADO	Factor de desviación	
			Magnitud (nº pulsos)	Porcentaje (%)
Tasa de ascenso	0,202	0,170	-0,032	-16,02
Tasa de descenso	-0,194	-0,129	0,066	33,78
Nº inversiones	192,500	150,600	-41,9	-21,76

*La Magnitud perteneciente al Factor de Desviación indica la diferencia entre el régimen natural y el alterado (valor régimen natural – valor régimen alterado). El Porcentaje es el cociente entre la Magnitud y el valor del régimen natural.

Tabla 126. Media de los cambios diarios positivos de caudales (ascenso) y negativos (descenso) junto con factor de desviación de tales medias del tramo 2-3. (Fuente: Elaboración propia mediante Tabla de resultados de IHA paramétricos)

11.4.6. EVALUACIÓN DE LA ALTERACIÓN

La evaluación de la alteración del tramo 2-3, al igual que la realizada en el tramo anterior, se lleva a cabo a través del conocido como RVA desarrollado por Richter et. al. (1997). Los resultados ofrecidos por IHA se muestran por categorías en la siguiente Tabla, como se ha explicado en el epígrafe de la Evaluación de la Alteración del tramo 1-2, el tercer grupo de parámetros no será evaluado en este apartado ya que se ha estudiado y expuesto a título informativo únicamente, por carecer de importancia en el presente Estudio.

Mediante la Figura 134 y la Tabla 127 es posible conocer los parámetros más afectados dentro de cada categoría. Se puede apreciar que el primer grupo de parámetros IHA es el más alterado, seguido por el quinto grupo. La categoría baja es la que muestra mayores niveles de alteración, mientras que la alta se constituye de menores parámetros alterados y la alteración de la media apenas es apreciable.

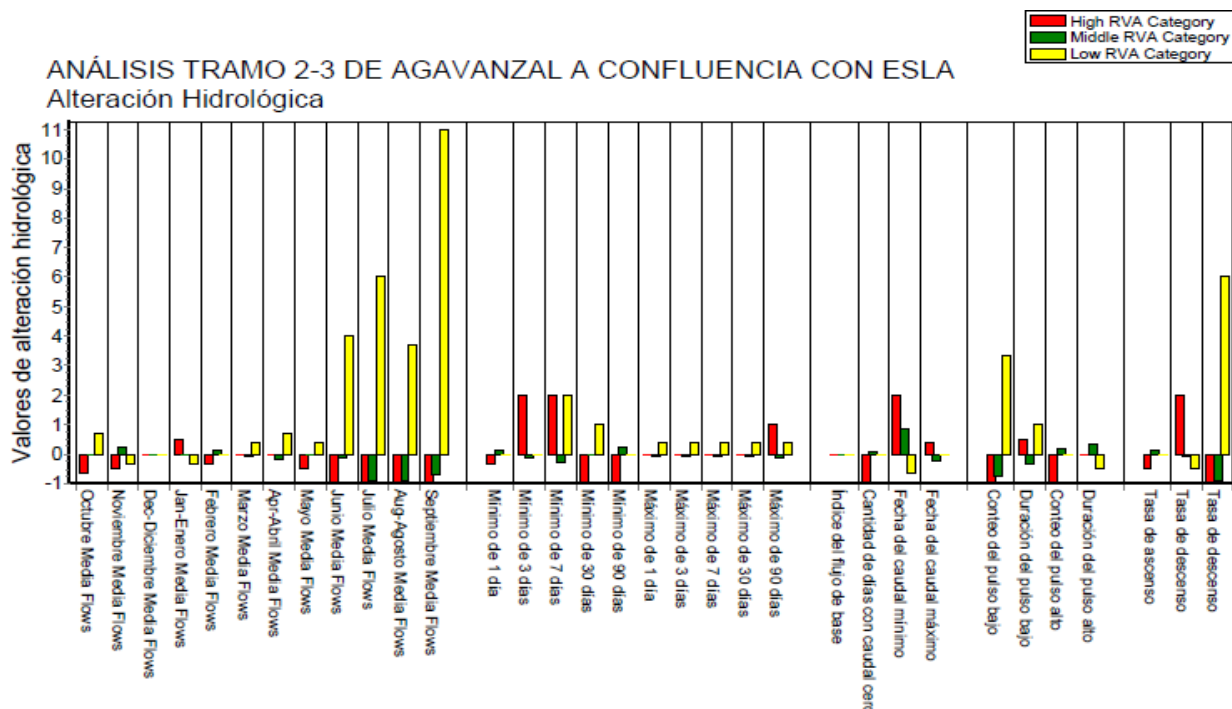


Figura 134. Alteración de los 33 parámetros que analiza IHA del tramo 2-3. (Fuente: IHA)

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

	PARÁMETROS EVALUADOS	CATEGORÍAS RVA								
		ALTA			MEDIA			BAJA		
		FE	FO	Alteración	FE	FO	Alteración	FE	FO	Alteración
PRIMER GRUPO	Octubre	3	1	-0,7	9	9	0	3	5	0,7
	Noviembre	2	1	-0,5	10	12	0,2	3	2	-0,3
	Diciembre	2	2	0	10	10	0	3	3	0
	Enero	2	3	0,5	10	10	0	3	2	-0,3
	Febrero	3	2	-0,3	9	10	0,1	3	3	0
	Marzo	2	2	0	10	9	-0,1	3	4	0,3
	Abril	3	3	0	9	7	-0,2	3	5	0,7
	Mayo	2	1	-0,5	10	10	0	3	4	0,3
	Junio	2	0	-1	12	10	-0,2	1	5	4
	Julio	2	0	-1	11	1	-0,9	2	14	6
	Agosto	3	0	-1	9	1	-0,9	3	14	3,7
	Septiembre	3	0	-1	11	3	-0,7	1	12	11
SEGUNDO GRUPO	1-día mínimo	3	2	-0,3	9	10	0,1	3	3	0
	3-días mínimo	1	3	2	12	10	-0,2	2	2	0
	7-días mínimo	1	3	2	13	9	-0,3	1	3	2
	30-días mínimo	3	0	-1	9	9	0	3	6	1
	90-días mínimo	2	0	-1	10	12	0,2	3	3	0
	1-día máximo	3	3	0	9	8	-0,1	3	4	0,3
	3-días máximo	3	3	0	9	8	-0,1	3	4	0,3
	7-días máximo	3	3	0	9	8	-0,1	3	4	0,3
	30-días máximo	3	3	0	9	8	-0,1	3	4	0,3
	90-días máximo	1	2	1	11	9	-0,2	3	4	0,3
	Número días cero caudal	1	0	-1	14	15	0,1	0	0	
	Índice caudal base	3	3	0	9	9	0	3	3	0
CUARTO GRUPO	Conteo pulsos bajos	3	0	-1	9	2	-0,8	3	13	3,3
	Duración pulsos bajo	2	3	0,5	12	8	-0,3	1	2	1
	Conteo pulsos altos	2	0	-1	13	15	0,2	0	0	
	Duración pulsos alto	1	1	0	7	9	0,3	2	1	-0,5
QUINTO GRUPO	Tasa de subida	2	1	-0,5	10	11	0,1	3	3	0
	Tasa de bajada	1	3	2	12	11	-0,1	2	1	-0,5
	Número de reversas	2	0	-1	11	1	-0,9	2	14	6

Tabla 127. Categorías alta, media y baja del RVA para cada uno de los parámetros IHA analizados en el presente Estudio del tramo 2-3.
(Fuente: Elaboración propia mediante Tabla de resultados de IHA paramétricos)

Para la categoría baja, los parámetros más alterados del tramo 2-3 son los caudales medios desde junio a septiembre, siendo estos últimos los que mayor alteración presentan. El número de pulsos bajos y la tasa de descenso son otros parámetros que también resultan afectados en el régimen alterado.



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA



La alteración de las categorías alta y media es escasa, por lo que resulta insignificante su evaluación. El propio IHA, que expone en sus resultados los parámetros más alterados (Figura 136), constata que la categoría media apenas se encuentra alterada y por ello no es necesario evaluarla. No obstante, la Figura 136 muestra algunos parámetros alterados pertenecientes a la categoría media, aunque estos tienen un valor de alteración bajo y por ello no se evalúan con tanta precisión como los de la categoría baja. Algunos de estos parámetros alterados de la categoría alta a tener en cuenta son los valores mínimos del caudal mensual y trimestral que, como se observa en dicha Figura, presentan una alteración elevada lo cual ha sido comentado con anterioridad en el epígrafe *MAGNITUD Y DURACIÓN DE LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS EXTREMAS ANUALES*.

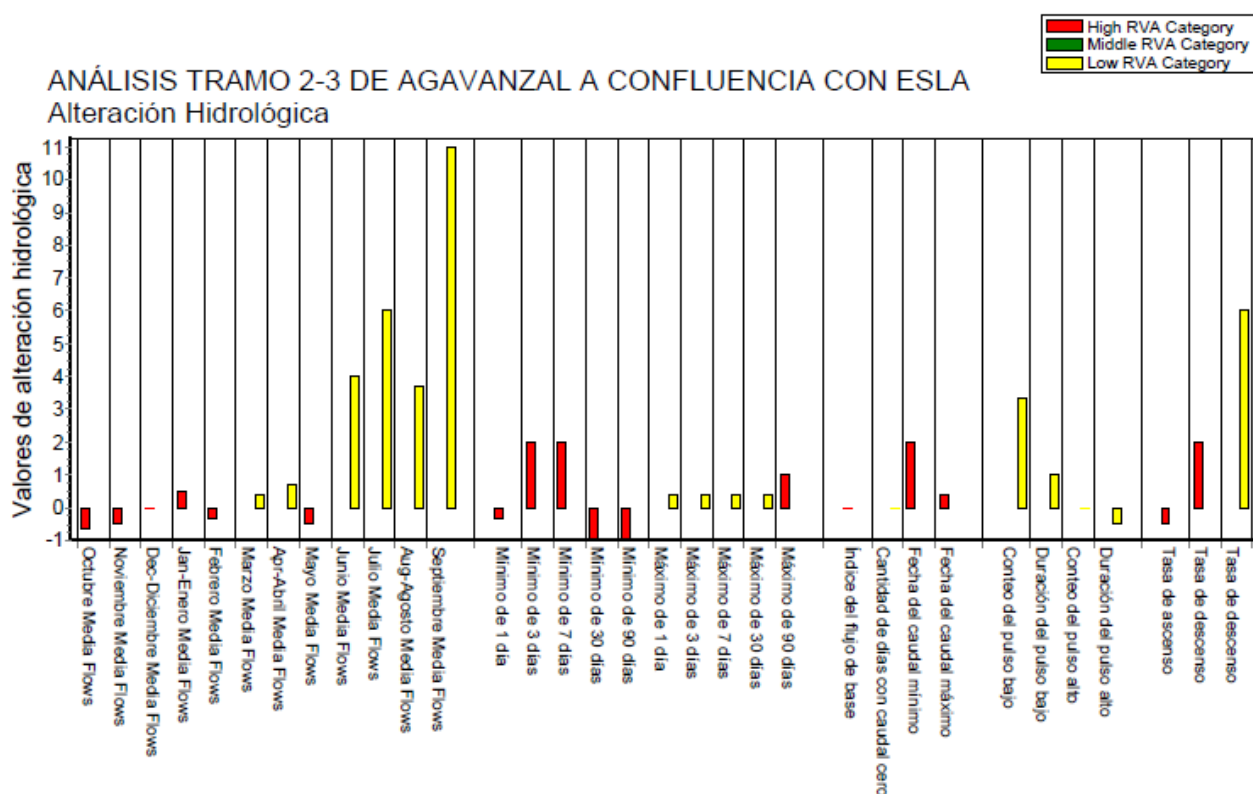
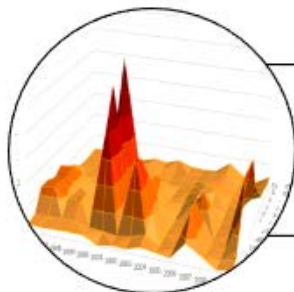


Figura 136. Factores más grandes de alteración hidrológica de los 33 parámetros que analiza IHA en el tramo 2-3.
(Fuente: IHA)

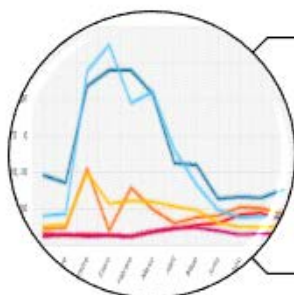
11.5. CONCLUSIONES

Los siguientes puntos muestran los tipos de alteración del tramo:



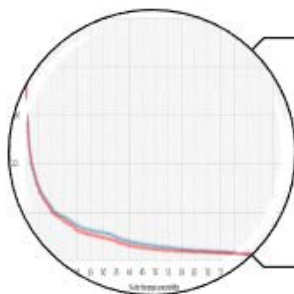
Aportaciones anuales

- Variabilidad y magnitud se mantienen constantes. *Alteración no apreciable.*



Aportaciones mensuales

- Variabilidad: alterada en años medios y secos, apenas apreciable en húmedos. *Alteración mínima.*
- Magnitud: Disminución en verano. *Alteración mínima.*
- Estacionalidad máximos y mínimos: rango reducido. *Alteración media.*



Caudales diarios circulantes

- 50% del año el régimen alterado disminuye su caudal con respecto al natural. *Alteración no apreciable.*
- Variabilidad: Disminución del rango. *Alteración no apreciable.*



Avenidas

- No se produce alteración en ningún aspecto de las avenidas. *Alteración no apreciable.*



Sequías

- Magnitud: aumenta. *Alteración media.*
- Variabilidad: *Alteración media.*
- Duración: aumentan considerablemente los días de sequías. *Alteración grave.*
- Estacionalidad: no cambios en el patrón, aumentan los días entre julio y diciembre. *Alteración media.*

Figura 137. Conclusiones de la alteración de los aspectos analizados del tramo 2-3.
(Fuente: Elaboración propia)

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

En general el tramo 2-3 sufre menos alteración que el tramo que le precede (tramo 1-2). En este tramo del río se localizan numerosas zonas de cultivo, como quedan explicadas en el epígrafe *USOS DEL SUELO*, y se conoce que los dos últimos embalses derivan poco caudal para estos cultivos.

El tramo 2-3 se caracteriza por el buen estado hidrológico de los años clasificados como húmedos en IAHRIS y la patente alteración en diversos aspectos de los años secos. De forma más genérica, sin dividir en tipos de años, la alteración es apenas apreciable en valores más habituales. No obstante, estudiando los caudales medios mensuales de cada uno de los años estudiados se conoce que existen algunos años en los cuales la magnitud de estos caudales aumenta significativamente con respecto a los valores calificados naturales en el tramo 2-3. En cambio el promedio de todos los años estudiados muestra que en general, en la mayoría de los meses el porcentaje de disminución es mayor que el de crecidas.

Los **valores mínimos** son los valores extremos más afectados en términos de magnitud, aunque la alteración de estos es menor que la presente en el tramo 1-2, los valores máximos apenas se encuentran afectados. La **estacionalidad de los máximos y los mínimos** es uno de los aspectos más alterados de este tramo, junto con el **número de días de caudal nulo** que, como se expone en el epígrafe *MAGNITUD Y DURACIÓN DE LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS EXTREMAS ANUALES*, se encuentra gravemente alterado, no existiendo días de caudal nulo.

La duración de **caudales bajos o sequías**, así como su variabilidad y estacionalidad o temporalidad se encuentran gravemente alteradas, constituyendo un problema en este tramo del río Tera, ya que las sequías se ven aumentadas de forma drástica en cinco meses al año (julio-diciembre). En cambio, las avenidas no encuentran alteración alguna en este tramo. Esto puede asemejarse al estudio realizado por IHA de los pulsos bajos y altos, concluyendo que, al igual que las sequías, el número de pulsos bajos ha variado enormemente de un régimen a otro y su duración ha aumentado mientras que los pulsos altos, de forma similar a las avenidas, apenas encuentran alteración en número y duración.



12. CONCLUSIONES FINALES

12. CONCLUSIONES FINALES

La alteración en las conclusiones de ambos tramos se ha clasificado en cuatro grupos dependiendo del nivel de afección de cada aspecto: alteración no apreciable, mínima, media y grave. En la siguiente Figura se observan las distintas alteraciones para los distintos grupos evaluados, estos grupos contienen los parámetros analizados mediante IAHRIS e IHA.

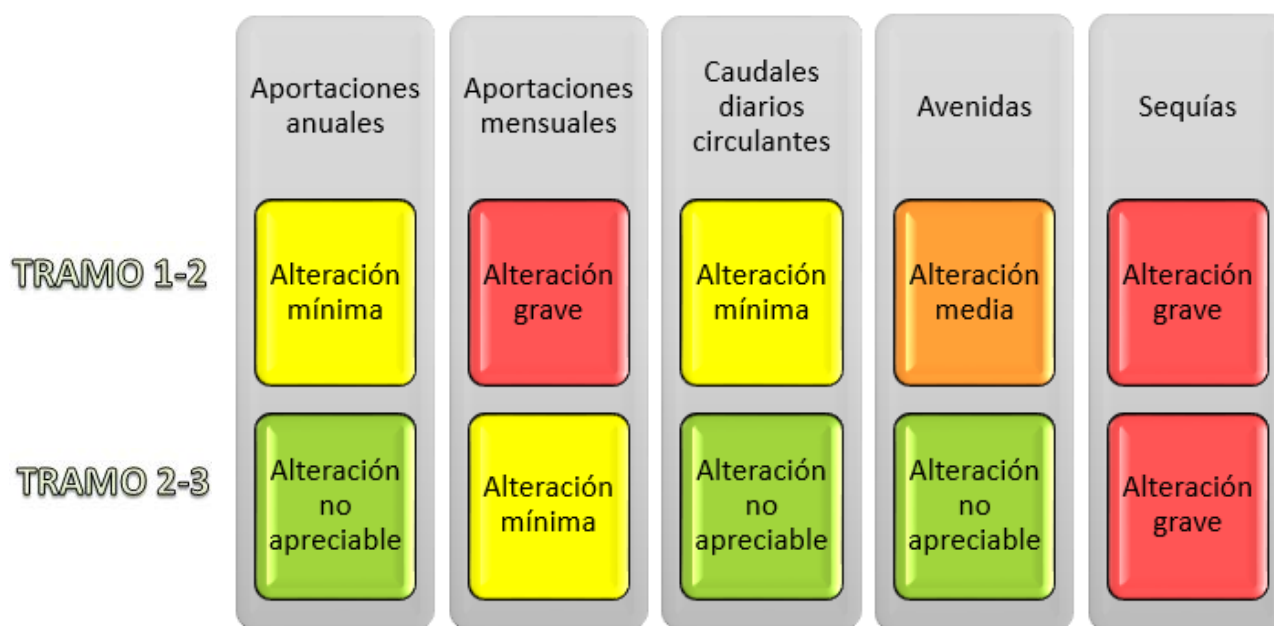


Figura 138. Relación de aspectos evaluados para cada uno de los tramos, mostrando el tipo de alteración. (Fuente: Elaboración propia)

- En general, al observar la Figura 138, se aprecia que las sequías o caudales mínimos constituyen el grupo más afectado, como se ha mencionado con anterioridad.
- Por otra parte, los aspectos menos alterados son los caudales medios diarios y las aportaciones anuales, que presentan una alteración mínima o no apreciable.
- Las aportaciones mensuales en el tramo 1-2 se caracterizan por tener un mayor grado de alteración en comparación con el tramo 2-3, esto se debe a que la magnitud y la variabilidad de los valores mensuales sufren una gran variación en el primer tramo.

12.4. CONCLUSIONES DESDE EL PUNTO DE VISTA DE RESULTADOS

En base a los resultados obtenidos de ambos tramos, se conoce que:

- Los parámetros más afectados se engloban dentro de las sequías, en concreto la variabilidad de las sequías habituales. La estacionalidad de los mínimos es también un aspecto que se encuentra gravemente alterado en ambos tramos, aunque de forma menos intensa que la variabilidad de las sequías.

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

- En general el tramo 2-3 se encuentra menos alterado que el 1-2, ya que este se caracteriza por las graves alteraciones de la magnitud y la variación de las aportaciones mensuales y prácticamente todos los aspectos relacionados con las sequías.

A través de la Figura 139 es posible apreciar los parámetros más afectados para los tramos 1-2 y 2-3, así como la presión ejercida en el medio en cada uno de ellos:



Figura 139. Principales conclusiones de los tramos 1-2 y 2-3. (Fuente: Elaboración propia)

- Las presiones ejercidas en el primer tramo responden a un régimen regulado por los tres embalses ya expuestos, por lo que cabe esperar una alteración importante en este tramo que, lógicamente, afectará a los tramos siguientes del río, por lo tanto, el tramo 2-3 se ve afectado por esta presión. No obstante, los resultados del tramo 2-3 constituyen la evaluación de la alteración del tramo sin tener en cuenta las presiones aguas arriba. En este segundo tramo el régimen no está regulado ya que no se presenta ningún tipo de obra hidráulica, sin embargo, la zona se encuentra rodeada de cultivos, por lo que se ha evaluado su posible afección al ecosistema fluvial.
- Como anteriormente se ha mencionado y en base a la Figura anterior, los aspectos más alterados de ambos tramos coinciden en las sequías. No obstante, en el primer tramo se considera que la estacionalidad de los valores mínimos resulta una gran afección en el ecosistema. Los días de caudal nulo son un aspecto que también se encuentra afectado, especialmente en el tramo 2-3, en el cual desaparecen. Al no existir días de caudal nulo se pueden producir intromisiones de especies alóctonas, además es posible que las especies típicas de la zona se encuentren con la dificultad añadida de no poderse adaptar a estas nuevas condiciones.
- En cuanto a los aspectos menos alterados, las aportaciones anuales es el grupo de parámetros menos afectados para el primer tramo de estudio, ya que tanto la magnitud como la variabilidad se mantienen conforme al régimen que se entiende como natural. Las avenidas se han considerado como las menos variadas en el tramo 2-3, así como los caudales diarios circulantes que, como se ha podido observar a través de la curva de caudales clasificados, apenas encuentran variación del inicio al fin del tramo.

12.5. CONCLUSIONES DESDE EL PUNTO DE METODOLOGÍA

Desde el punto de vista de la metodología de los Índices de Alteración Hidrológica, las conclusiones son las siguientes:

1. Ambos software, IAHRIS e IHA, ofrecen resultados similares: no se presentan contradicciones en los resultados.
2. IAHRIS e IHA son software complementarios: IAHRIS divide por tipo de año los datos hidrológicos y los resultados arrojados por este son fáciles de comprender e interpretar; IHA constituye un software más complejo y en consecuencia la comprensión de los resultados es más complicada, por tanto, IHA ofrece unos resultados mucho más completos, desglosando año a año los datos hidrológicos.

12.6. OTRAS CONCLUSIONES

Con el fin de conocer específicamente la afección del sistema de embalses en el tramo 1-2, sería necesario llevar a cabo un estudio de los caudales medios horarios, ya que al tratarse de embalses de uso hidroeléctrico no se conoce concretamente la alteración del caudal con datos medios diarios que camuflan los saltos hidroeléctricos típicos de estos embalses.

Sería interesante realizar la proposición de caudales ecológicos sometida a un estudio de hábitat para complementar el presente Estudio, mediante la metodología RAC (Régimen ambiental de caudales) y el empleo de PHABSIM u otros software de simulación del hábitat.

13. BIBLIOGRAFÍA

13. BIBLIOGRAFÍA

- Arqued, V., Camarero, Y., Villanueva, V., Morales, A., Seisdedos, P., Hernández, N., Alfonso, N., Fernández, J. 2012.** Confederación Hidrográfica del Duero. *Plan hidrológico de la parte española de la demarcación hidrográfica del Duero. Zonas Protegidas (Anejo 3)*. Valladolid, 2012.
<http://www.chduero.es/Inicio/Planificaci%C3%B3n/Planhidrol%C3%B3gico2009/PropuestaPlanHidrol%C3%B3gico/Anejo3ZonasProtegidas/tabid/504/Default.aspx>.
- Carrero Díez, L., Fernández Yuste, J.A., Martínez SantaMaría, C. 2009.** *Proyecto EFLUS: Caracterización del régimen natural de caudales y evaluación de la alteración de los ríos Júcar y Cabriel*. Madrid: s.n., 2009.
- Confederación Hidrográfica del Duero. 2013.** *Plan hidrológico de la parte española de la demarcación hidrográfica del Duero-2015. Informe artículo 5. Características de la demarcación hidrográfica, estudio de impacto ambiental de la actividad humana y análisis económico de usos del agua*. Valladolid, 2013.
<http://www.chduero.es/Inicio/Planificaci%C3%B3n/Planhidrol%C3%B3gico2015/InformeArt5DirectivaMarcodelagua/tabid/602/Default.aspx>
- Fernández Pereira, J., Morales San José, A., Camarero, Y. 2012.** Confederación Hidrográfica del Duero. *Plan hidrológico de la parte española de la demarcación hidrográfica del Duero (2009). Inventario de presiones (Anejo 7)*. Valladolid, 2012.
<http://www.chduero.es/Inicio/Planificaci%C3%B3n/Planhidrol%C3%B3gico2009/PropuestaPlanHidrol%C3%B3gico/Anejo7Invenpresiones/tabid/508/Default.aspx>.
- Gómez Sanz, V. 2011.** *Caracterización climática básica de un espacio natural*. Madrid: Servicio de Reprografía de la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal.
- Lara, F., Garilleti, R., Calleja, J.A. 2007.** *La vegetación de ribera en la mitad norte española*. 2ª ed. Madrid : Serie Monografías. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, Ministerio de Fomento, 2007. 84-7790-440-3.
- Martínez Santa-María, C. & Fernández Yuste, J.A. 2010.** *IAHRIS 2.2 Índices de Alteración Hidrológica en Ríos. Manual de Usuario*.
- Poff N.L., Allan J.D., Bain M.B., Karr J.R., Prestegard K.L., Richter B.D., Sparks R.E., Stromberg C. 1997.** *The Natural Flow Regime. A paradigm for river conservation and restoration*. BioScience Vol. 47 No.11
- Rodríguez Arroyo, J. 2012.** Confederación Hidrográfica del Duero. *Plan hidrológico de la parte española de la demarcación hidrográfica del Duero (2009). Caudales ecológicos (Anejo 4)*. Valladolid, 2012.
<http://www.chduero.es/Inicio/Planificaci%C3%B3n/Planhidrol%C3%B3gico2009/PropuestaPlanHidrol%C3%B3gico/Anejo4Caudalesecol%C3%B3gicos/tabid/505/Default.aspx>.
- Richter, B.D., J.V. Baumgartner, J. Powell, and D.P. Braun. 1996.** *A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems*. Conservation Biology 10:1163-1174.
- Richter, B.D., J.V. Baumgartner, R. Wigington, and D.P. Braun. 1997.** *How much water does a river need?* Freshwater Biology 37: 231-249.
- Richter, B.D., J.V. Baumgartner, D.P. Braun , and J. Powell. 1998.** *A spatial assessment of hydrologic alteration within a river network*. Regulated Rivers 14: 329-340.
- Saiz Santiago, P., Antón Cigaran, L. 2012.** Confederación Hidrográfica del Duero. *Plan hidrológico de la parte española de la demarcación hidrográfica del Duero. Asignación y reserva de recursos (Anejo 8)*. Valladolid, 2012.
<http://www.chduero.es/Inicio/Planificaci%C3%B3n/Planhidrol%C3%B3gico2009/PropuestaPlanHidrol%C3%B3gico/Anejo6Asigresrecursos/tabid/507/Default.aspx>.



ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO Esla

The Nature Conservancy, 2009. *Manual del usuario de Indicadores de Alteración Hidrológica*, Versión 7.1.

Villanueva, V. 2012. Confederación Hidrográfica del Duero. *Plan hidrológico de la parte española de la demarcación hidrográfica del Duero. Objetivos ambientales (Anejo 8)*. Valladolid, 2012.
<http://www.chduero.es/Inicio/Planificaci%C3%B3n/Planhidrol%C3%B3gico2009/PropuestaPlanHidrol%C3%B3gico/Anejo8Objambientales/tabid/509/Default.aspx>.

PÁGINAS WEB

AEMET. Agencia Estatal de Meteorología. [En línea]. Disponible en: <http://www.aemet.es/es/portada>. [Consultado: marzo, 2014].

Confederación Hidrográfica del Duero. MIRAME. [En línea]. Disponible en: http://www.mirame.chduero.es/DMAduero_09/index.faces# [Consultado: diciembre, 2013]

IGME. Instituto Geológico y Minero de España, MAGNA. [En línea]. Disponible en: <http://www.igme.es/internet/cartografia/cartografia/magna50.asp> [Consultado: octubre, 2013]

Junta de Castilla y León. Red Natura JCYL. [En línea]. Disponible en: <http://rednatura.jcyl.es/natura2000/LIC/LIC2.html> [Consultado: mayo, 2014]

Junta de Castilla y León. Red Natura JCYL. [En línea]. Disponible en: rednatura.jcyl.es/natura2000/ZEPA/ZEPA2.html [Consultado: mayo, 2014]

MAGRAMA. Geoportal. [En línea]. Disponible en: <http://sig.magrama.es/geoportal/> [Consultado: octubre, 2013]

SEPTEM. Sociedad Española de Presas y Embalses. [En línea]. Disponible en: <http://www.seprem.es/> [Consultado: febrero, 2014]

Xunta de Galicia. Turgalicia. [En línea]. Disponible en: http://www.turgalicia.es/portada-espazos-naturais?langId=es_ES [Consultado: mayo, 2014]

LEGISLACIÓN

España. Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas.

España. Real Decreto 439/1990, de 30 de marzo, por el que se regula el Catálogo Nacional de Especies Amenazadas.

España. Real Decreto 139/2011, de 4 de febrero, para el desarrollo del Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial y del Catálogo Español de Especies Amenazadas.

España. Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica.

España. Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica.

España. Orden ARM/1195/2011, de 11 de mayo, por la que se modifica la Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica.

Europa. Directiva 2000/60/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Diario Oficial de las Comunidades Europeas, 22 de diciembre de 2000.



14. ANEXO: MAPAS



ÍNDICE ANEXO

Mapa 1: Geología en la cuenca del río Tera

Mapa 2: Subregiones Fitoclimáticas en la cuenca del río Tera

Mapa 3: Usos del suelo en la cuenca del río Tera

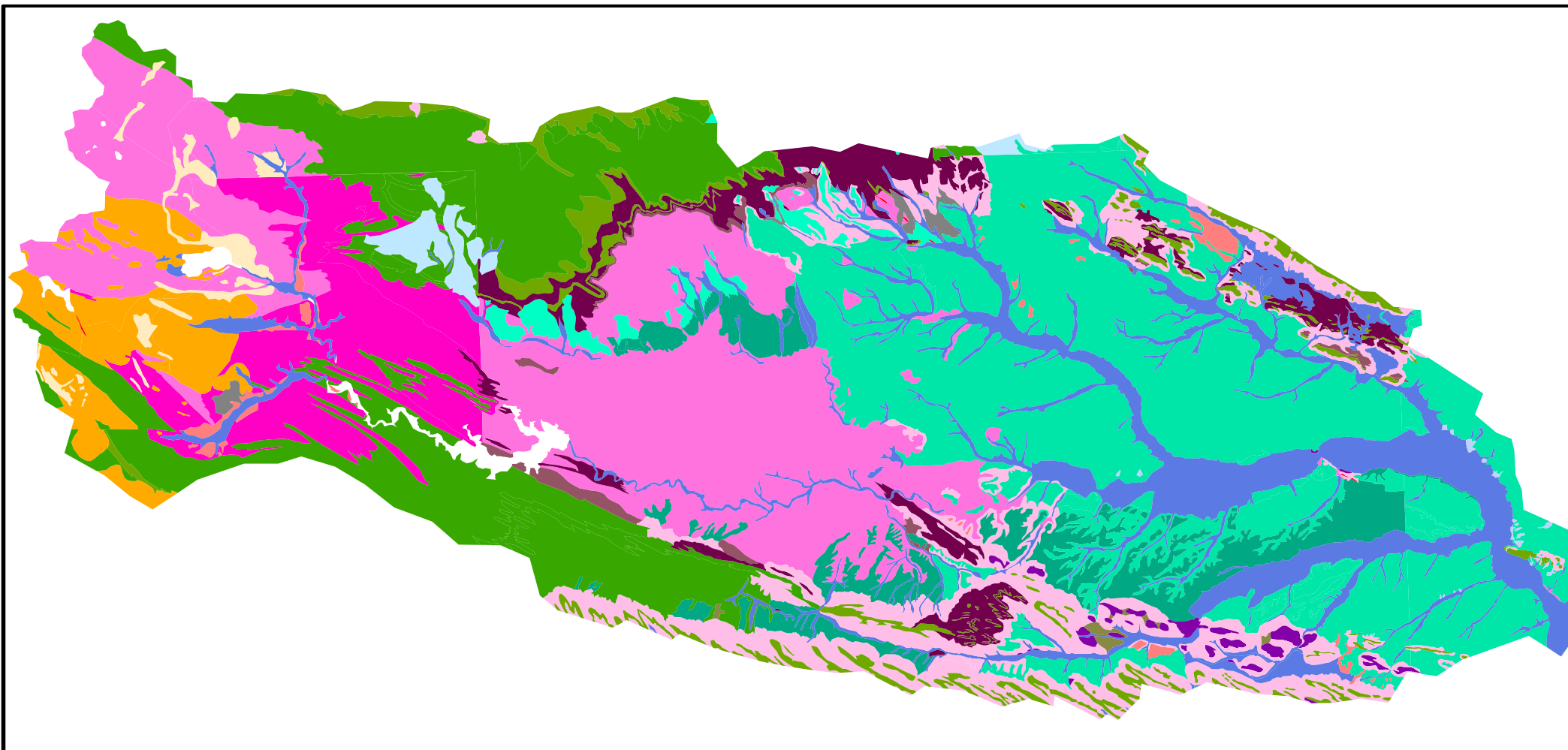
Mapa 4: Vegetación en la cuenca del río Tera

Mapa 5: Zonas protegidas de Red Natura 2000 en la cuenca del río Tera

Mapa 6: Escorrentía en la cuenca del río Tera

Mapa 7: Grupos hidrológicos en la cuenca del río Tera





UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

**ETSI MONTES, FORESTAL
Y DEL MEDIO NATURAL**



Geología en la cuenca del río Tera

**ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA
EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA
HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA**

Legenda:

- | | | |
|---|---------------------|----------------------|
| Aluviones | Eluviones | Pizarras y cuarcitas |
| Coluviones | Esquistos | Rañas |
| Conglomerados | Filitas | Rocas graníticas |
| Conglomerados, arenas, areniscas y arcillas | Filitas y esquistos | Terrazas |
| Conglomerados, limos y arcillas | Filones de cuarzo | |
| Conos de deyección | Gneises | |
| Cuarcitas | Indiferenciado | |
| Depósitos glaciares, morrenas | Metagrauvacas | |

0 2 4 8 12 16 Kilometers



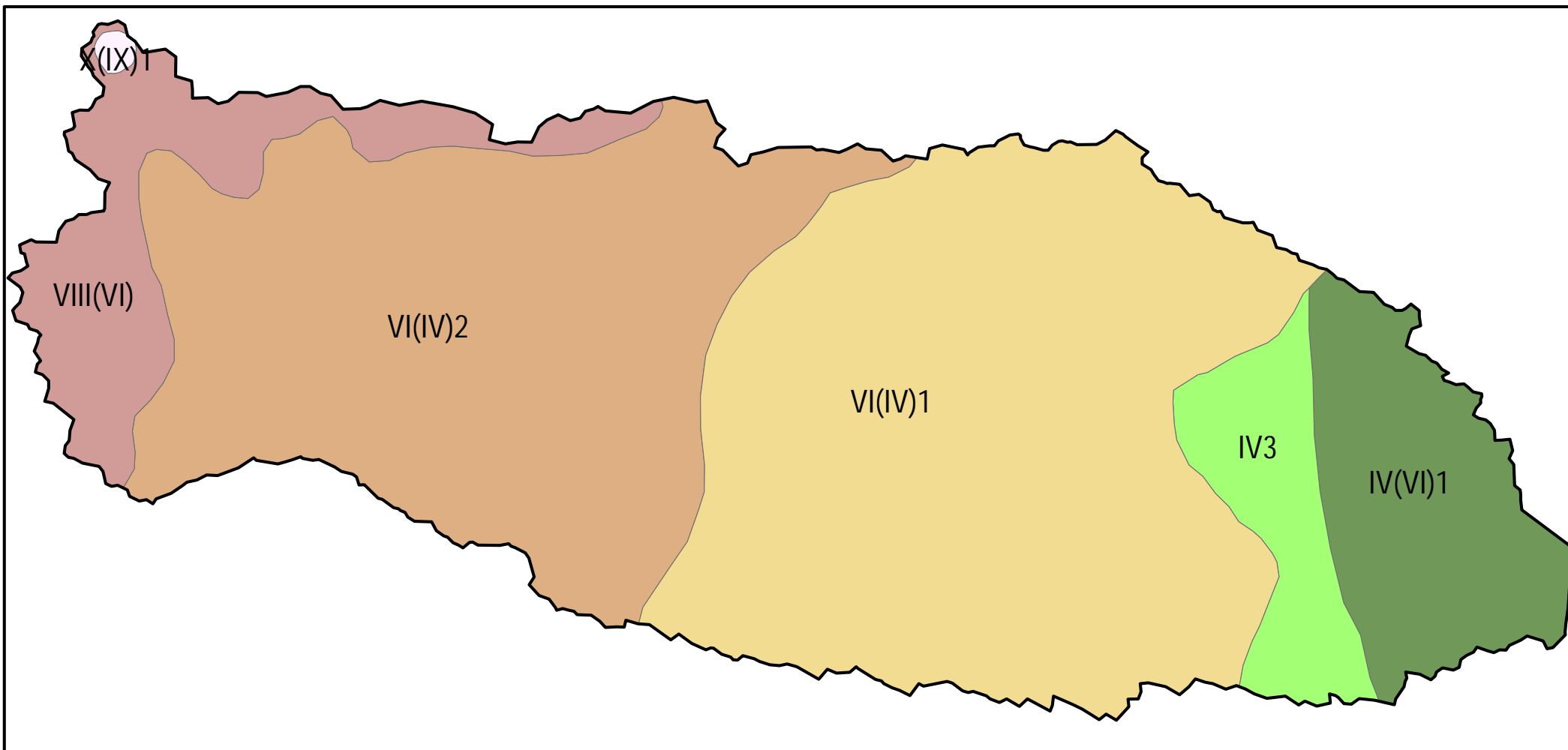
Autor:

Ángela Chimeno Saavedra

Plano nº:
1

Fecha:

Septiembre, 2014



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ETSI MONTES, FORESTAL
Y DEL MEDIO NATURAL



Subregiones Fitoclimáticas en la cuenca del río Tera

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA
EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA
HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

Leyenda:

Clasificación de Allué Andrade (1990)



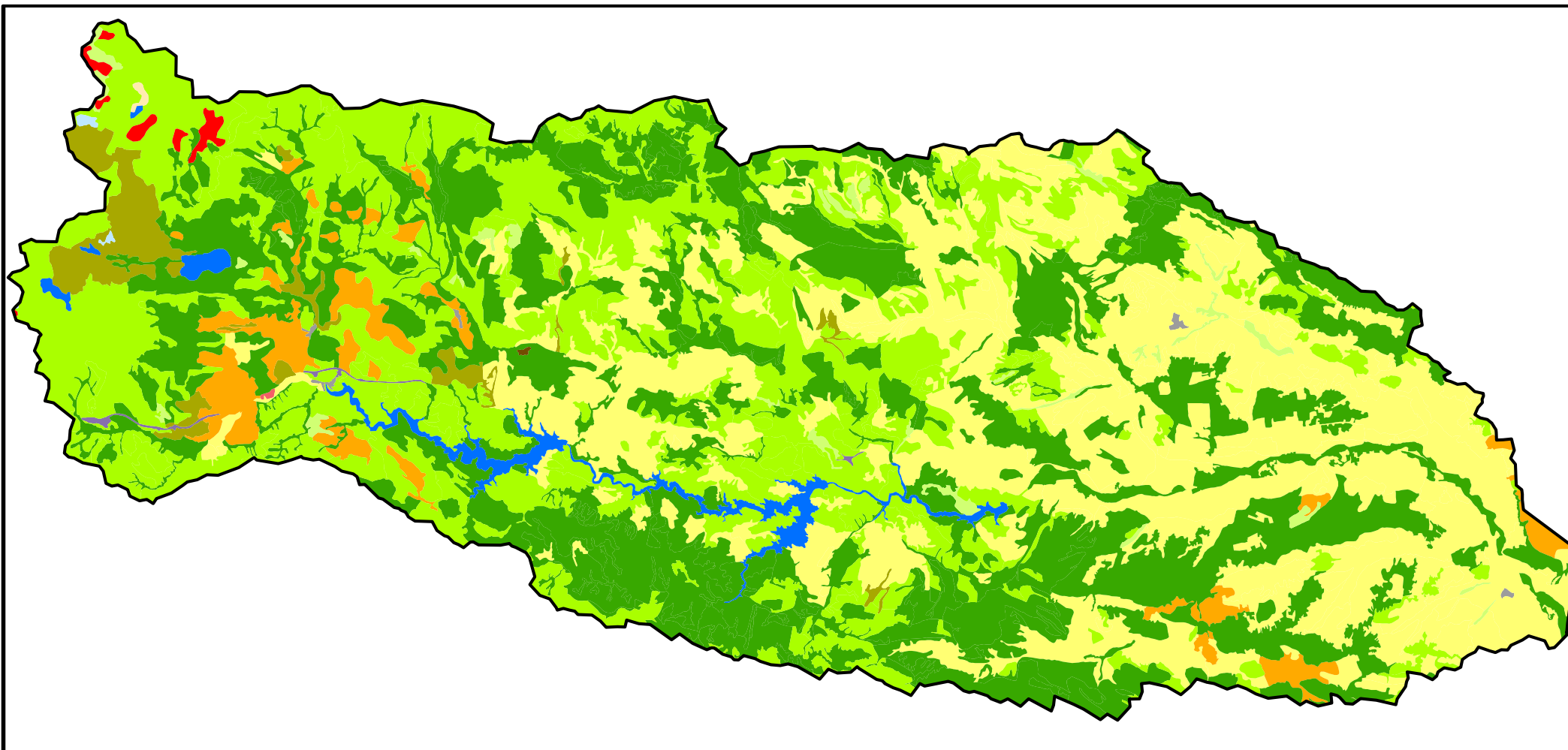
Autor:

Ángela Chimeno Saavedra

Plano nº:
2

Fecha:

Septiembre, 2014



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

**ETSI MONTES, FORESTAL
Y DEL MEDIO NATURAL**



Usos del suelo en la cuenca del río Tera

**ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA
EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA
HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO Esla**

Leyenda:

- | | |
|--------------------------------|---|
| Bosques | Prados y praderas |
| Cultivos | Redes viarias, ferroviarias
y terrenos asociados |
| Cursos y láminas de agua | Roquedos |
| Espacios con vegetación escasa | Sistemas agroforestales |
| Humedales y zonas pantanosas | Tejido urbano |
| Matorrales | Zonas de extracción minera |
| Pastizales naturales | Zonas quemadas |

0 2 4 8 12 16 Kilometers



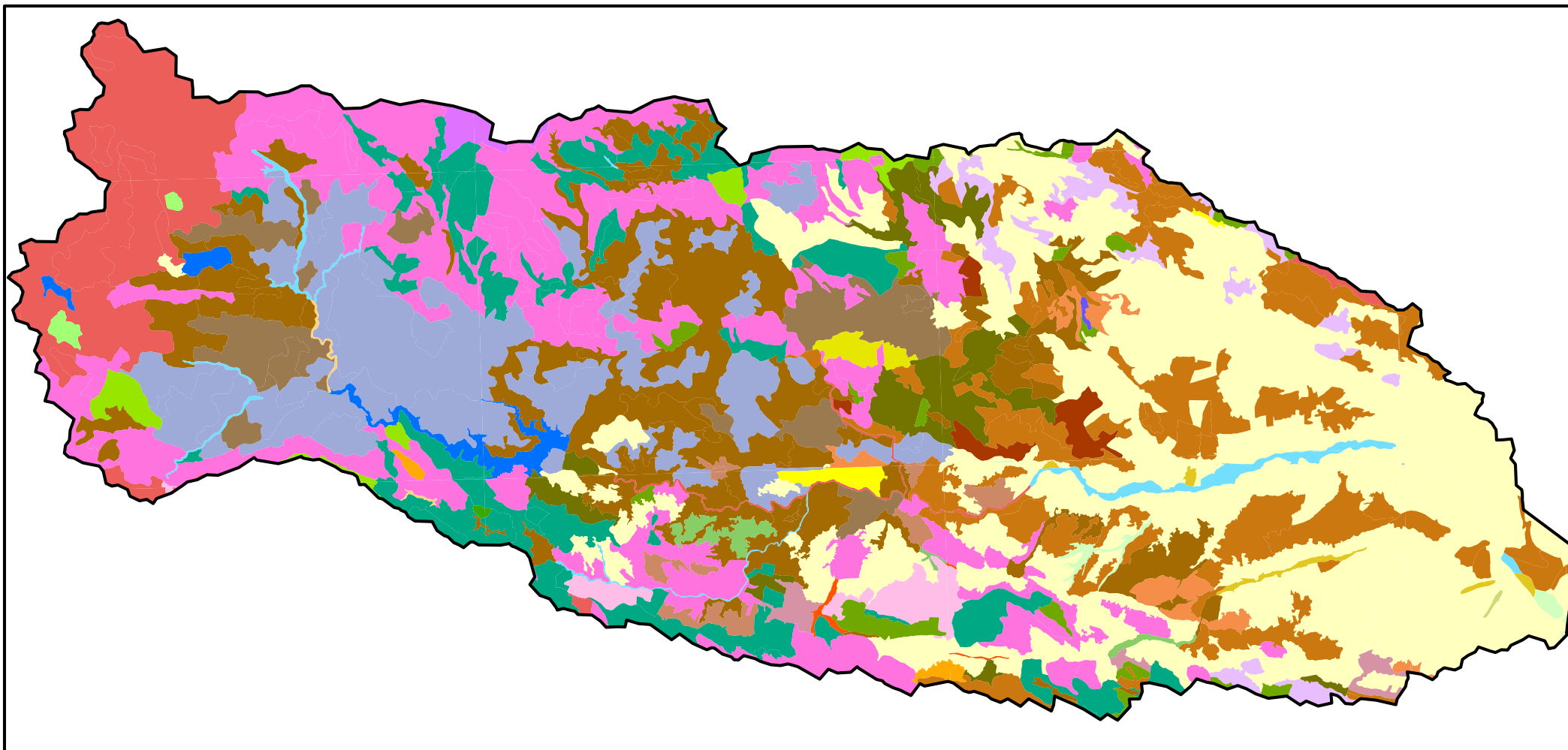
Autor:

Ángela Chimeno Saavedra

Plano nº:
3

Fecha:

Septiembre, 2014



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ETSI MONTES, FORESTAL
Y DEL MEDIO NATURAL



Vegetación en la cuenca del río Tera

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA
EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA
HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

Legenda:

- Agua
- Alnus glutinosa
- Brezal mixto
- Brezal xerófilo mixto
- Castanea sativa
- Cistus ladanifer
- Cultivos agrícolas
- Cytisus multiflorus
- Césped denso de altura, "braña de cumbres"
- Quercus faginea
- Quercus ilex rotundifolia

- Desierto o semidesierto (incendios, rocoso)
- Erica australis
- Erica umbellata
- Galería arbórea mixta
- Halimium alyssoides
- Jaramagal
- Juniperus communis alpina
- Junquera mixta y/o herbazal vivaz alto de "tabla"
- Matorral mixto silicícola
- Prado de diente
- Quercus pyrenaica
- Populus x canadensis

- Prado de siega
- Mezcla de varias especies de pinos
- Pastizal estacional
- Pastizal leñoso mixto: Especies ± xerófilas
- Pastizal o herbazal vivaz
- Pinus nigra
- Pinus pinaster
- Pinus sylvestris
- Populus nigra
- Sin formación
- Xesteira

0 2 4 8 12 16 Kilometers



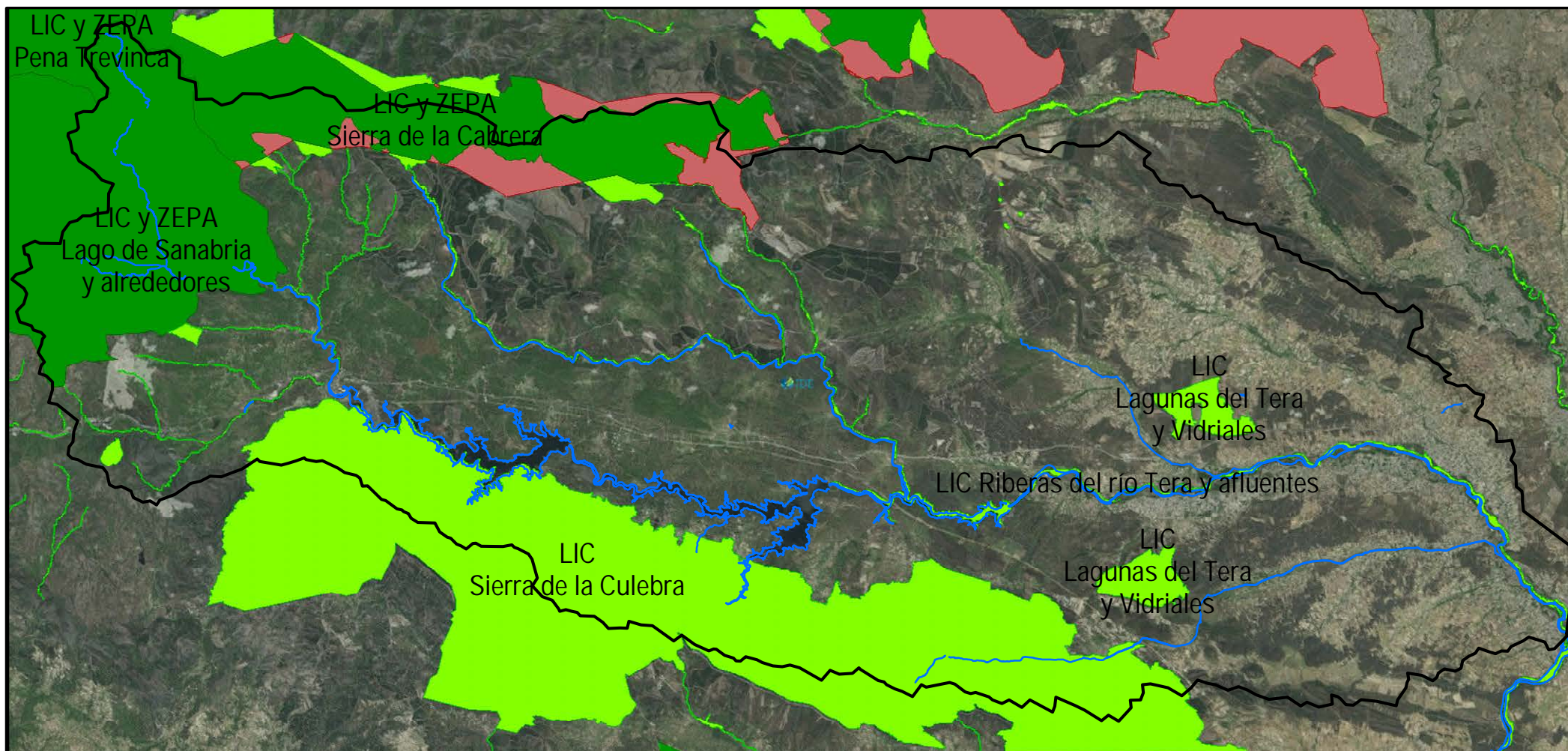
Autor:

Ángela Chimeno Saavedra

Plano nº:
4

Fecha:

Septiembre, 2014





UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ETSI MONTES, FORESTAL
Y DEL MEDIO NATURAL



**Zonas protegidas de Red Natura 2000
en la cuenca del río Tera**

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA
EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA
HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

Leyenda:

— Masas de agua

Red Natura 2000


■ LIC

■ ZEPA

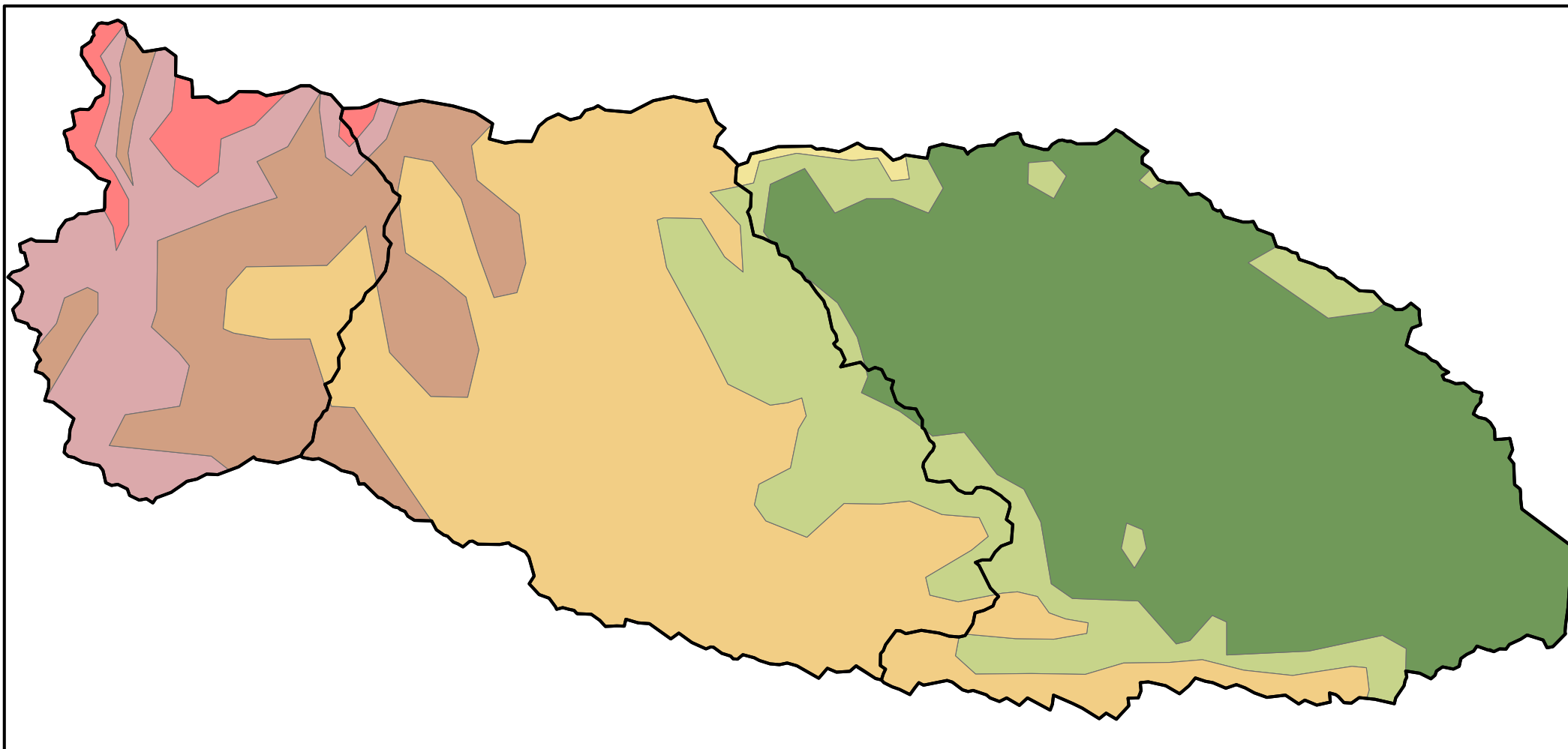
■ LIC y ZEPA

0 2 4 8 12 16

Kilometers



<p>Autor:</p> <p>Ángela Chimeno Saavedra</p>	<p>Fecha:</p> <p>Septiembre, 2014</p>
<p>Plano nº:</p> <p>5</p>	



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

**ETSI MONTES, FORESTAL
Y DEL MEDIO NATURAL**

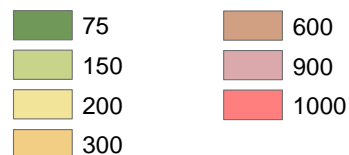


Escorrentía en la cuenca del río Tera

**ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA
EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA
HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO Esla**

Leyenda:

Escorrentía (mm/año)



0 2 4 8 12 16 Kilometers



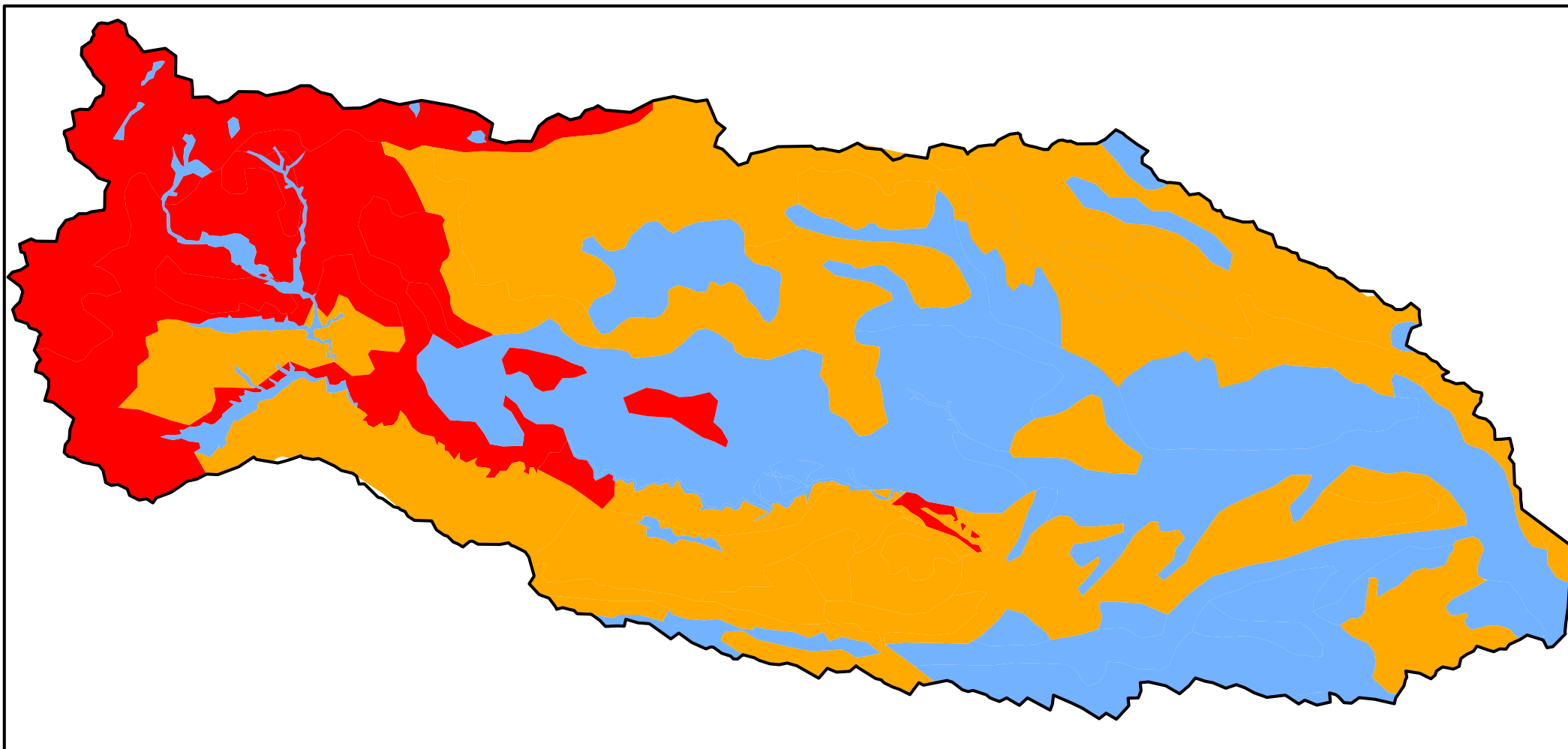
Autor:

Ángela Chimeno Saavedra

Plano nº:
6

Fecha:

Septiembre, 2014



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ETSI MONTES, FORESTAL
Y DEL MEDIO NATURAL



Grupos hidrológicos en la cuenca del río Tera

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA
EN EL RÍO TERA DESDE EL EMBALSE DE CERNADILLA
HASTA SU CONFLUENCIA CON EL RÍO ESLA

Leyenda:

B

C

D

0 2 4 8 12 16 Kilometers



Autor:

Ángela Chimeno Saavedra

Plano nº:
7

Fecha:

Septiembre, 2014